MICHAEL SHALLIS

EL IDOLO DE SILICIO

BIBLIOTECA CIENTIFICA SALVAT

Michael Sallis

El Ídolo de Silicio

La “revolución” de la informática y sus implicaciones sociales

SALVAT

Versión española de la obra *The silicon idol*
publicada por Oxford University Press de Londres

Traducción José Vicuña

Escaneado: thedoctorwho1967.blogspot.com
Edición digital: Sargont (2018)

© 1986. Salvat Editores, S. A. – Barcelona
© 1984. Michael Shallis
ISBN 0-19-215877-5 Edición original
ISBN 84-345-8246-5 Obra completa
ISBN 84-345-8396-8 Depósito Legal NA-133-1986
Publicado por Salvat Editores, S. A. - Mallorca. 41-49 Barcelona
Impreso por Gráficas Estella Estella (Navarra)
Printed in Spain

Prefacio

Parece ser que cualquier crítico de la tecnología puede verse tachado de *ludita*, y no me sorprendería mucho que algunos de los lectores de este libro me aplicaran este término. En el ámbito de lengua inglesa se llama *luditas* a quienes, contrarios al progreso, querrían volver al pasado. El término proviene de Ned Ludd, personaje probablemente de ficción que —según se cuenta— a principios del siglo XIX empujó a los tejedores calceteros de la región central de Inglaterra a destruir las máquinas tejedoras que estaban privando a los artesanos tradicionales de su medio de vida.

Hay dos puntualizaciones que me gustaría hacer en cuanto a los "luditas", La primera, es que fueron personas que emprendieron una acción para salvar sus puestos de trabajo y sus medios de vida, enfrentándose a una tecnología impuesta y socialmente perjudicial: una expresión de compromiso político y de ira individual que, en mi opinión, merece al menos respeto. La segunda se refiere al progreso. No creo que la nueva tecnología en sí, ni por mor de la eficiencia y la productividad, sea *progresiva* si el precio que hay que pagar por tal progreso es el desempleo, la urbanización, o la eliminación de los oficios, la dignidad y las tradiciones de la gente desposeída envuelta en este proceso. El progreso debería estar dirigido hacia alguna meta específica, y sólo puede ser juzgado según dicha meta. El progreso no debería implicar automáticamente la sustitución de lo viejo por lo nuevo si lo viejo es, en realidad, satisfactorio. Criticar lo nuevo no significa necesariamente querer volver al pasado. Más bien significa que lo nuevo no satisface las expectativas existentes, y que las cosas nuevas tienen que demostrar ser mejores que las viejas antes de permitir que sustituyan lo bueno del pasado. Está claro que a nadie le interesa defender lo malo del pasado y, desde luego, yo tampoco tengo intención de hacerlo. La actitud crítica hacia lo nuevo puede denotar, simplemente, instinto de conservación.

Estaría dispuesto a admitir que se me llamara ludita si eso implica que no creo que los fines justifiquen necesariamente los medios. Si el término ludita significa preservar todo lo bueno del pasado y rechazar las cosas que puedan destruirlo, entonces lo aceptaría gustosamente. Lo que no puedo aceptar con gusto es el hecho de que los partidarios de la nueva tecnología utilicen tan a menudo este término para desacreditar a sus críticos, haciendo así que la discusión se desarrolle de un modo unilateral.

La notoria falta de críticas públicas hacia la informática contrasta vivamente con los temores y aprensiones que suelen manifestarse, en privado, acerca de una tecnología fomentada, y muy rápidamente, por los tecnócratas y por los gobiernos, que está siendo insertada en el entramado de nuestra sociedad antes de que la mayoría de la gente tenga siquiera oportunidad de comprender lo que está ocurriendo. Mi propósito con el presente libro es corregir este desequilibrio.

Mi experiencia con ordenadores o computadores es muy larga. A finales de la década de los sesenta, mi interés por la nueva tecnología me llevó a volver a la universidad, ya como estudiante maduro, a la edad de veintisiete años. A lo largo de los últimos trece años he podido trabajar tanto con grandes ordenadores o computadores como con sencillos microcomputadores de un solo chip. He escrito programas en diferentes lenguas, y he estado estrechamente vinculado al cálculo científico intensivo y a la integración de un minicomputador en un sofisticado aparato de investigación. Más recientemente me he dedicado a instruir a varias clases de estudiantes acerca de los computadores y la programación, y también acerca de las ideas contenidas en este libro. Al igual que muchas de las personas que trabajan con computadores, mi especialidad académica no es la informática, sino la astrofísica. Sin embargo, mi experiencia práctica me ha dado la oportunidad de comprender y utilizar la tecnología de la informática, así como de asesorar a la gente, tanto en círculos educativos como en círculos comerciales y científicos. Pero, excepto un reloj digital que tuve durante un par de años, nunca he tenido un computador, y nunca lo tendré.

Mi intención en este libro ha sido presentar, de tantas maneras como ha sido posible, una serie de ideas sobre lo que son los computadores. La primera mitad del libro trata de los computadores, de su funcionamiento, de sus aplicaciones y de sus potenciales futuros. La segunda parte se refiere a sus orígenes históricos y sociales, y a los efectos que están teniendo en el nivel de empleo y en las estructuras de nuestra sociedad. El libro concluye con una valoración de las ideas que se ocultan detrás del progreso de las máquinas y de la situación en que queda la gente. Si mi conclusión parece pesimista, no ha sido intencionadamente: tengo fe en el sentido común y en la capacidad de la gente para discriminar y ver las cosas tal como son. Esta fe ha nacido de mis contactos con personas de todo tipo, a quienes he presentado, y con quienes he discutido, las ideas que han dado lugar a este libro. El perfeccionamiento de muchas de estas ideas, y por tanto la mejora de este libro, se debe en parte a estas personas; estudiantes, colegas y amigos. Mi reconocimiento y mi agradecimiento por el importante y estimulante papel que han desempeñado.

También he recibido consejo y comentarios críticos de diversas personas; algunas me han aconsejado sobre algún aspecto concreto: Frank Pettit, John Parker, Marie y Dennis O'Malley y Max Gorman. Y otras me han ayudado en un sentido global: Robert Elmore, Alan Ryan, Simon Pringle, Richard Conrad, Ann Buckle y Jonathan Darby. Su paciencia, sus críticas constructivas, sus ánimos y su apoyo han sido de gran valor para mí, y se lo agradezco de todo corazón. David Black ha inspirado muchos de mis pensamientos, y sus comentarios sobre el manuscrito me han sido de inapreciable valor. Le expreso mi más sincero agradecimiento. Estoy también muy agradecido a Leslie Watts y Susan Hugo-Hamman por haber mecanografiado el manuscrito.

Hago extensiva mi gratitud a mi esposa, Esther, y a toda mi familia, por su amor y comprensión durante los meses que estuve dedicado a escribir este libro. Sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

Finalmente, he de agradecer al Dr. Henry Hardy su fe en el libro, desde que emprendí la tarea hasta su forma actual. Su apoyo

editorial me ha ayudado considerablemente y ha hecho posible que mis esperanzas se materializaran en el presente libro.

M. J. S.

Índice de capítulos

1. Máquinas que “piensan”
2. Hardware y software
3. El chip y el cambio
4. La transformación de las tecnologías
5. Posibles futuros
6. La tecnología y el ser humano
7. Los orígenes de la microtecnología
8. Computadores y trabajo
9. Atrapado en un laberinto
10. El fruto prohibido
11. El ídolo de silicio

Finalmente, quiero hacer una advertencia general dirigida a todos: que consideren cuáles son los verdaderos fines del conocimiento, y que no lo busquen para placer de la mente, ni por competir, por alcanzar una superioridad sobre los demás, ni por beneficio, fama o poder, ni por ninguno de esos motivos inferiores; sino en servicio y para beneficio de la vida; y que lo perfeccionen y gobiernen en caridad. Porque fue por ansia de poder por lo que los ángeles cayeron, y por ansia de conocimiento por lo que cayeron los hombres, mientras que la caridad no puede darse en exceso, y nunca hombre o ángel peligró por ello.

Francis Bacon. *The Great Instauration*

1. Máquinas que "piensan"

Se dan dos tipos de reacciones ante la cuestión de qué debería hacer la humanidad si se descubrieran otras formas de inteligencia —hombrecitos verdes o lo que fuera— en algún lugar del Universo. La primera actitud seria optimista: alegría por saber que no estamos solos en el Universo y deseo de ponerse en contacto con estos seres lo antes posible. Después de todo, quizás ellos pudieran ayudamos a resolver nuestros problemas terrestres, mejorar nuestra economía, liberamos de nuestro armamento y enseñamos cómo vivir felices. La otra actitud sería casi la opuesta: puesto que los alienígenas podrían mostrarse tanto hostiles como pacíficos, lo mejor sería que nos quedáramos quietecitos y pasáramos desapercibidos, para evitar ser arrasados por estos potenciales invasores del espacio.

Estas dos típicas actitudes extremas pueden encontrarse también en la reacción de la gente hacia la moderna tecnología de los computadores. Los optimistas están entusiasmados con las nuevas técnicas y tecnologías; desestiman el peligro de "invasión" y consideran la tecnología poco menos que como la panacea universal. Otros, en cambio, miran la tecnología con desconfianza y hasta con miedo. Este sentimiento puede estar suscitado por la posibilidad de perder el propio empleo, de ser sustituido por una máquina, o puede derivarse también de una irracional aprensión hacia los computadores, que son vistos como máquinas que "piensan".

A pesar de que éstas serían dos posturas extremas en el espectro de opiniones sobre la tecnología de los computadores, resulta interesante comprobar la similitud existente entre las reacciones hacia los computadores y las actitudes hacia las supuestas inteligencias extraterrestres. De alguna manera, los computadores se nos presentan como seres de otro planeta: parecen ser algo más que meras máquinas. Es como si hubiéramos sufrido una invasión, puesto que nos encontramos rodeados de lavadoras "inteligentes",

coches que "piensan" y computadores que hacen el papel de médicos, ingenieros, diseñadores y otros especialistas. La gente desea saber qué es lo que pueden aportamos los computadores, como si el computador fuera una especie de "hombrecito verde". Mucho más que cualquier otra tecnología, la de los computadores ha experimentado en muy poco tiempo una intensa antropomorfización.

No quisiera llevar demasiado lejos esta analogía con las inteligencias extraterrestres, aunque la idea de que la microtecnología nos es algo "extraño" tiene cierto atractivo. Trato simplemente de hacer ver que la gente proyecta en las máquinas una cualidad propia de los seres vivos, y esto hace que parezca que las máquinas "piensan". Como para operar con un computador las personas tienen que introducir información e instrucciones en la máquina y reciben información de ella, suelen identificar este proceso con el proceso de comunicación, que es algo que normalmente se desarrolla entre personas. De todo esto surge una jerga, y frases como "hablar con el computador", "comunicación interconectada" o "diálogo entre máquinas", se deslizan en el lenguaje cotidiano. Este tipo de frases refuerza la imagen antropomórfica que nos formamos de los computadores y, así, la tendencia a hablar de estas máquinas como si fueran "inteligentes", "creativas" y "pensantes", se ha convertido en algo común y corriente. Este lenguaje no es más que una jerga, pero una jerga falaz, porque su uso corrompe nuestra lengua y puede llegar a alterar la misma percepción de las máquinas. Sólo cuando proyectamos la imagen de un hombre sabio sobre unas "cajas misteriosas", un teclado y una pantalla de televisión, podemos sentimos lo bastante seguros como para "contarle" a la máquina nuestros pensamientos más secretos (en el caso de que el computador esté haciendo el papel de un psiquiatra) o nuestros síntomas más íntimos y embarazosos (si la máquina está programada para realizar diagnósticos médicos). Y lo más irónico del caso es que algunas personas prefieren contestar a la máquina que a un médico de carne y hueso, haciéndolo con mayor sinceridad y más confidencialmente que a cualquier ser humano. Esto se debe en parte a que la máquina es "impersonal", y también a que

en cierto modo la máquina es algo así como una persona ideal; quizá como una inteligencia "extraña" a nosotros.

Las máquinas que "responden" ejercen una fascinación casi hipnótica a la que muchas personas son incapaces de resistirse. Efectivamente, la máquina antropomorfizada puede provocar en la gente una respuesta emocional difícilmente distinguible de los sentimientos humanos genuinos, hasta que uno se detiene a pensarlo. Analizando el acto de "comunicación" con el computador es posible ver más objetivamente en qué se está convirtiendo nuestra relación con la máquina. A pesar de todo, incluso la persona que ha creado el programa para el computador y que, por tanto, sabe perfectamente que la máquina se limita a seguir unas instrucciones que él mismo ha creado, puede quedar también hechizada hasta casi llegar a creer que la máquina es en cierto modo una "persona". Es una fascinación tan poderosa como la que producen las muñecas que hablan, el muñeco del ventrílocuo o el pajarito mecánico que canta.

A este poder de fascinación se añade la complejidad intrínseca del computador, que, como si fuera un enigma, provoca en algunas personas el deseo compulsivo de "encontrar la clave". A estas personas se les denomina *hackers*[1], y podemos encontrarlas en la mayoría de las instalaciones de computadores, viviendo casi literalmente *de* y *para* la máquina.

El *hacker* se pasa la vida en el ambiente artificial de la sala del terminal del computador, comiendo bazofia mientras se inclina ensimismado sobre el listado que va saliendo de la impresora, volviendo una y otra vez a su consola para intentar manipular de nuevo el sistema. Aunque el estilo de vida del *hacker* no nos resulte nada familiar, la mayoría tenemos algunos de sus rasgos psicológicos. El efecto hipnótico de un monitor de televisión nos sumerge en la vida de la máquina. Los videojuegos se vuelven compulsivos, los programas interactivos (del tipo de los que "respon-

[1] *Hacker:* expresión coloquial —cuyo significado queda explicado en el texto— de la que aún no existe un equivalente en castellano. Se han oído términos como "infomaníacos" o "infoadictos", que no nos parecen demasiado afortunados. *(N. del T.)*

den" y llaman incluso al usuario por su nombre) absorben nuestra atención de una manera que en el *hacker* llega a ser extrema. Los fabricantes de computadores y los creadores de programas saben muy bien cómo aprovechar esta cualidad. Recuerdo un videojuego que empezaba con el mensaje: «El propósito de este juego es descubrir sus reglas.» Se trataba de descubrir el modo correcto de responder, apremiado por mensajes que indicaban si la respuesta era válida, y si no lo era, descontaba puntos de un total de puntos inicial. A pesar de ser bastante frustrante, el juego resultaba fascinante.

Se deseaba ganar, vencer al sistema. Y este tipo de reacción no se limita sólo a los juegos. La obtención de datos, que quizás en sí misma no tenga especial interés, puede volverse compulsiva. Hace años, cuando estaba dirigiendo un experimento de laboratorio, observé que los visitantes se agolpaban siempre alrededor de la mesa de trabajo, porque los resultados del experimento iban apareciendo en la pantalla de un monitor controlado por el computador. Cada vez que alguien pasaba por allí se quedaba mirando, hipnotizado por los datos que el computador iba arrojando. Resultaban fascinantes aunque fueran incomprensibles. Este poder de fascinar a la gente subyugando su atención puede sernos muy útil a la hora de instruir en el manejo de los computadores. Un programa interactivo que mantiene un "diálogo" con el estudiante le "ayuda" a realizar su tarea; y los estudiantes parecen contentos de ser dirigidos en sus ejercicios por una máquina tan paciente y solícita.

Aunque he utilizado la comparación entre los computadores y los extraterrestres, también se podría establecer una analogía entre estas máquinas y los animales domésticos. La máquina, al igual que un perro, parece estar bajo control y a la vez ser capaz de responder por su propia voluntad. Como he dicho antes, suele proyectarse la imagen de un hombre sabio en el computador, y esto no se diferencia mucho del modo en que solemos proyectar algunas de nuestras necesidades en nuestros animales de compañía. No es coincidencia que uno de los computadores domésticos más popula-

res haya sido llamado *Pet*[2]; la necesidad de que los computadores respondan a nuestras proyecciones ya ha sido comprendida, al menos comercialmente. Sin embargo, esto no es una mera argucia publicitaria; forma parte de nuestra actitud antropomórfica frente a los computadores, una actitud que está siendo fomentada por la industria cibernética para vencer nuestra resistencia hacia las máquinas, resistencia que no se deriva, por supuesto, de una respuesta eufórica a los computadores, sino más bien de todo lo contrario, es decir, del miedo.

Conozco a mucha gente que siente una profunda desconfianza hacia la mayor parte de la tecnología, y especialmente hacia la tecnología de los computadores; generalmente este miedo no es consciente del todo, y a menudo no se expresa hasta que sale a relucir en una conversación. Sin embargo, está ahí. Hay algo en esta tecnología que desagrada a la gente. Esto puede deberse en parte a que es la máquina quien toma el control y nos arrastra a su mundo. Y puede llegar a convertirse en una obsesión, como podría contamos muy bien cualquier programador. Además, se interpone entre las personas, sustituyendo las relaciones humanas por la interacción con las máquinas; y también se interpone entre el hombre y la naturaleza de un modo engañosamente "útil", que puede identificarse como un sustituto artificial de la experiencia, como algo antinatural. El miedo puede surgir, al menos en parte, de saber que lo más difícil de los computadores es desconectarlos. Y también proviene de lo mismo que hace de los computadores algo compulsivo: su capacidad de ser receptores de nuestras proyecciones, de nuestro hacerlos semejantes a nosotros dotándoles de "vida". Imaginar que una máquina sea de algún modo semejante a una persona no es sólo decir algo sobre la máquina, sino también manifestar una actitud hacia la gente. La máquina antropomorfizada refleja también una imagen mecanizada del hombre, y de ahí nuestro rechazo hacia los computadores. No nos gusta esto en que nos hemos convertido, y que se refleja en nuestra tecnología.

[2] *Pet:* en inglés, animal doméstico y de compañía, nuestro favorito (mascota). *(N. del T.)*

Podría parecer que las posturas que he descrito son demasiado extremas; que, indudablemente, el computador no es más que un instrumento, igual que un coche o una pala. Y generalmente no sentimos nada especial por las palas; aunque quizá podamos ser algo más apasionados respecto a los coches. Lo que quiero presentar aquí, sin embargo, pretende ser la experiencia de la gente relacionada, por poco que sea, con la informática. La máquina que "piensa" provoca una fuerte respuesta emocional, lo que a algunas personas les resulta atractivo. El profesor Joseph Weizenbaum describe en su libro *Computer power and human reason*[3], cómo cambió su actitud frente a los ordenadores al ver cómo reaccionaba la gente a un programa que había diseñado como un ejercicio de simulación del lenguaje por una máquina. El computador estaba programado para "responder" como si fuera un psicoterapeuta rogeriano; y tanto los psicólogos como los profanos llegaban de alguna manera a "creerse" que la máquina estaba respondiendo como lo haría una persona. Parecía "escucharles" y parecía hacerlo con "interés".

Distanciándose de ello, Weizenbaum observó cuidadosamente el fenómeno que él y sus colegas habían provocado, y su libro es una inapreciable fuente de argumentos y testimonios acerca de los sentimientos humanos que despierta ese campo de la informática denominado "inteligencia artificial". La conmoción que sufrió Weizenbaum al ver el modo en que la gente proyectaba sus necesidades en un programa de computador, fue el punto inicial de su investigación, y puede servimos de ejemplo para ver cómo las reacciones humanas que despiertan los computadores suelen ser más intensas que las que provoca una simple herramienta. La esperanza de que el computador será la solución a nuestros problemas sociales, económicos e incluso personales también nos puede servir de ejemplo. Deseamos, e incluso esperamos, que las técnicas de la informática puedan al menos ayudamos a resolver los problemas del mundo; como si lo único que hiciera falta fuera descubrir la

[3] Traducción castellana: *Frontera entre el computador* y *la mente,* Ed. Pirámide. 1978.

técnica adecuada. En lugar de analizarlos como "problemas nuestros" que, por definición, están originados por nosotros mismos, tratamos de encontrar soluciones externas, y esperamos que algo "ajeno a nosotros" nos dé la respuesta que andamos buscando. Sin embargo, existe la tendencia a mirar los problemas como si no fueran más que el resultado de una mala administración, de una falta de los recursos necesarios, etc.; y automáticamente se da por sentado que tiene que haber una solución tecnológica para nuestras dificultades. En semejante contexto el computador aparece como un *deus ex machina* capaz de liberamos de la esclavitud, de elevar nuestro nivel de vida, de crear riqueza y, presumiblemente, de hacemos felices. Como el *hacker*, también nosotros nos dejamos seducir por la técnica, que nos transporta a un mundo irreal.

Cuando una persona se sienta ante un terminal de computador, ya sea para echar una partida, escribir un programa o ejecutar otro ya existente, su atención se concentra siempre en los detalles técnicos de las operaciones que tiene que efectuar. Posiblemente este efecto resulta mucho más palpable cuando se trata de principiantes; se puede "ver" cómo el tecnicismo de la máquina se apodera de ellos. Esto supone una doble problemática. En primer lugar, la intervención de la técnica aísla a la gente de la experiencia directa, sustituyendo el mundo real por el mundo de fantasía del terminal y la pantalla de televisión. Este aislamiento y estas experiencias "de segunda mano" no pueden ser sanos, puesto que sólo actúan sobre una región limitada de la consciencia humana. En segundo lugar, la técnica debería ser un medio que nos abriera el camino hacia la consecución de algún fin; pero, en sí misma, la técnica no constituye un fin. Se considera a los computadores como una continuación del progreso; pero progresar significa avanzar hacia una meta. La idea de progreso, en el lenguaje ordinario, nunca significa ese fin y, en un sentido absoluto, la idea de progreso es un concepto infinito. Cuando la tecnología es progresiva su desarrollo no tiene fin, y sin un fin la técnica se convierte en un todo absoluto.

La razón por la que el computador puede ser visto, casi racionalmente, como la solución general a todos nuestros problemas, es que ha sido concebido para ser una máquina que sirva para todo

tipo de propósitos. Es una máquina que "piensa" y, por tanto, podemos hacer que "piense" sobre cualquier tema que deseemos. Puede argumentarse que para hacer que "piense" sobre un tema es necesario analizarlo previamente de un modo tan cuidadoso y objetivo que el problema estará claro y, por tanto, los resultados de este "pensamiento" serán "correctos". En ambientes informáticos existe un dicho muy conocido: "Mete basura, y saldrá basura", que corregiría la impresión que pueda tener la gente de que lo que dice el computador tiene que estar bien; los resultados serán buenos sólo en la medida en que lo sean los datos que proporcionemos. Sin embargo, tenemos una actitud frente a la máquina que refleja un aspecto de nosotros mismos. Quizá permitiendo que el computador resuelva nuestros problemas por nosotros, nos absolvemos de alguna manera de nuestra incapacidad de asumir la responsabilidad de nuestras vidas. ¡Qué cómodo sería dejar que la máquina tomara las riendas y dedicamos a pasarlo bien!

«Por primera vez en la Tierra», se lee en los titulares de un anuncio en el que puede verse un pequeño computador sobre un fondo de estrellas, como insinuando que la solución de nuestros problemas desciende de los cielos. Otro anuncia que «en menos de un día usted *le* hablará como a un amigo», en donde este se refiere a un pequeño computador. Y aunque semejante afirmación es falsa, resulta patente la actitud antropomórfica. En gran parte de la promoción publicitaria se esconde, de una forma u otra, la idea de que los computadores son casi humanos, ya que son máquinas que "piensan".

El lector se habrá percatado de que muchas de las palabras que aparecen en este texto —palabras como "piensan", "inteligencia", etc.— han sido escritas entre comillas; se ha hecho así con la intención de subrayar el lenguaje antropomórfico que se utiliza en relación con los computadores, y también para exponer el punto siguiente: puesto que el computador parece "pensar", y puesto que, para utilizarlo, el operador necesita comunicarse con él —pasarle cierta información y recibir sus resultados—, el computador ha sido rápidamente personificado; prácticamente "se nos presenta" como un androide. La tecnología de la informática ha hecho posi-

ble que la "comunicación" hombre-máquina se haya hecho cada vez más "humana". Ya existen actualmente computadores capaces de reconocer la voz humana en un contexto limitado, y hay muchas máquinas que son literalmente capaces de "respondemos". Por ejemplo, existen juguetes educativos que "hablan" con el niño, enseñándole las letras y la aritmética. También existe ya una máquina que "habla" programada para hacer café, y un coche que puede "hablar" con su conductor. Más adelante trataremos sobre los aspectos técnicos de estas máquinas. Por el momento es suficiente con que nos limitemos a señalar que el desarrollo de la tecnología tiende a lograr imitar por medios electrónicos las facultades humanas, para intentar dotar a las máquinas con estas mismas facultades. Cada vez más, los computadores se perfeccionan proveyéndoles de los equivalentes de los sentidos humanos; están siendo construidos de modo que parezca que sean capaces de "leer", "hablar", "escribir", "palpar", "ver" y "andar". Y, lo que es más fascinante, en las últimas investigaciones ya se están diseñando máquinas capaces de "aprender".

La pregunta que surge es si verdaderamente las máquinas pueden "hablar" o "pensar". He utilizado estas palabras entre comillas simplemente para llamar la atención sobre esta cuestión. Naturalmente, estas palabras se emplean en gran parte para "humanizar" las máquinas, para hacerlas más aceptables a la gente, pero de este modo se están atribuyendo a las máquinas cualidades que en realidad no poseen. Los profesionales de la informática terminan creyendo lo que sus propias palabras les han hecho creer, y en este proceso han corrompido el lenguaje que empleamos —correctamente— para referirnos a nosotros mismos. Decir que una máquina "piensa" es utilizar la palabra "pensar" como jerga. Una jerga puede definirse como un lenguaje técnico, pero también como un lenguaje degenerado o inculto. No es normal decir en castellano que las máquinas "piensan"; esto sería hablar en jerga en los dos sentidos de la palabra. Atribuir facultades humanas a los computadores, así como adjudicar a las máquinas cualidades que no les son propias, es degenerar el lenguaje y menospreciar las cualidades humanas. Esta jerga también puede actuar en el sentido

opuesto, describiendo a las personas como "animales procesadores de información" susceptibles de ser "programados". El uso de las comillas es importante para poder distinguir entre una utilización propia del lenguaje y su aplicación a procesos que, aunque puedan imitar algunos aspectos de las funciones humanas, no son en realidad actos humanos. En la literatura que existe sobre el tema las palabras como "conocimiento" aparecían siempre entrecomilladas; Weizenbaum, en su libro *Computer power and human reason*, cita a un autor anónimo que, presumiblemente a principios de la década de los años setenta, escribió: «Hace tan sólo uno o dos años era necesario escribir la palabra "conocimiento" entre comillas siempre que se utilizaba en un contexto semejante... pero existe un acuerdo tácito de que hemos superado ya el umbral a partir del cual se puede pensar que los computadores tienen "conocimiento"» (pág. 244).

La omisión de las comillas significa que se ha producido un cambio: se ha pasado de proyectar las cualidades humanas en los computadores a creer realmente que las máquinas poseen estas cualidades. Sin embargo, si nos detenemos a pensar en el significado de *pensar*, nos damos cuenta de que pensar es algo más que pasar información a través de un computador (el cerebro), y que afecta a toda la persona. En el mejor de los casos, los computadores pueden llegar a ser una imitación de parte o de la totalidad del cerebro, pero no poseen todas las cualidades que constituyen la esencia de una persona. Atribuirles estas cualidades puede quizá ayudar a la gente a relacionarse con los computadores, puede hacer que las máquinas sean más "familiares" al usuario (por seguir utilizando esta jerga), pero también puede contribuir a alimentar ese miedo irracional.

Para distinguir al hombre de la máquina, quiero presentar a continuación un resumen de lo que yo entiendo por cualidades humanas, a fin de disponer de una base o patrón como punto de referencia para las comparaciones que estableceremos a lo largo de este libro. La relación de las cualidades e ideales humanos que voy a exponer se basa en parte en el incomparable libro de F. Schu-

macher: A *guide for the perplexed* [4] y se deriva de una actitud tradicional y religiosa hacia la vida. Naturalmente, hay otros puntos de vista; en el pensamiento moderno el tema de la naturaleza humana es objeto de numerosas discusiones y especulaciones, pero, en mi opinión, el débil consenso que existe actualmente apenas llega a la altura de la visión tradicional de la condición humana, que está en absoluta contradicción con la descripción del hombre como un computador animado.

El hombre es un ser jerárquico en un mundo jerárquico. La característica común de todo nuestro mundo material es la misma *materia*, la sustancia, y la materia constituye el nivel más bajo de la jerarquía del ser humano. El segundo ingrediente de la condición humana es la *vida*; algo que reconocemos cuando lo vemos, incluso no siendo capaces de definirlo con precisión. Un perro muerto es cualitativamente diferente de un perro vivo. Las personas compartimos la cualidad de la vida con el reino vegetal y el animal. Además añadimos a la estructura humana la facultad de la *conciencia*, la habilidad de discernir, razonar, valorar, elegir. La conciencia es más que la simple capacidad de pensar; es lo que capacita a una criatura para estar en el mundo. En cambio, no está muy clara la línea divisoria entre los animales que son conscientes y los que no lo son, aunque resulta evidente que los animales superiores comparten esta facultad con el ser humano. Por ultimo, los seres humanos poseen la facultad de la *auto trascendencia*, el don que hace capaz al hombre de superarse a sí mismo; la facultad que nos ayuda a distinguir lo bueno de lo malo, a reconocer lo Absoluto. Entre todas las criaturas, sólo el hombre parece poseer esta cualidad. Más allá de este nivel existen dominios más elevados inalcanzables para nosotros, aunque nuestro yo autotrascendente puede tener conciencia de su existencia. Existen también dominios por debajo del nivel de la materia, pero los cuatro niveles que he descrito configuran la totalidad de la persona.

Lo extraordinario es que la vida, la conciencia y la autotrascendencia son hechos bastante misteriosos. No podemos compren-

[4] Traducción castellana: *Guía para los perplejos,* Ed. Debate, 1981.

derlos del todo. Ni siquiera somos capaces de comprender la materia. Estamos hechos de misterios. Aun así, a pesar de todo, podemos discernir estas cualidades. Un computador "muerto" (desconectado) no parece distinto de uno que está en funcionamiento. La máquina no es más que materia. Necesitamos una luz piloto que nos indique que la máquina está conectada. En cambio, podemos percibir la vida en las criaturas vivientes, a pesar de que los científicos no sean capaces de determinar en dónde reside. La autotrascendencia es mucho más difícil de percibir y, por tanto, no siempre resulta posible distinguirla de la conciencia, aunque hay suficientes ejemplos de personas que tratan de alcanzar el bien, la luz, el amor, como para poder distinguir esta cualidad más sutil.

El problema con los computadores radica en nuestro discernimiento de la conciencia. Considerar nuestra facultad de pensar como propiedad de un cerebro activo —o sea, reducir la conciencia a interacción entre vida y materia— es comprender erróneamente dicha facultad, ignorar que posee su propio nivel. Esto está a sólo un paso de considerar el pensamiento como un proceso "mecánico" y de establecer la inevitable comparación entre los circuitos electrónicos del computador y el cerebro humano. No es que creamos que los computadores están vivos, sino que confundimos su modo de funcionar con una forma de conciencia, debido a una interpretación incorrecta de lo que es en sí la conciencia. Además, esta confusión se ve incrementada por la capacidad del sistema nervioso humano de afectar y ser afectado por el funcionamiento eléctrico de los circuitos de un computador. Se conocen muchos casos en los que el estado psicológico de las personas afecta negativamente el funcionamiento de un sistema informático, así como de personas que se ponen enfermas, se marean o incluso sufren ligeros ataques epilépticos por la presencia de maquinaria informática. Existen "trastornadores" de sistemas informáticos y "sanadores" de computadores, personas con la habilidad de hacer que vuelvan a funcionar máquinas averiadas con su sola presencia. Creo que hay algún tipo de interacción entre la conciencia y la electricidad que hace parecer consciente a la máquina que "pien-

sa", debido a que percibimos algo en ella que la hace diferente de un aparato puramente mecánico.

El saber tradicional distingue también entre la mente racional —*ratio*— y el intelecto —*intellectus*—. La mente racional es asociada con la conciencia y el cerebro, mientras que el intelecto se corresponde con la autotrascendencia y se localiza simbólicamente en el corazón. Así pues, la mente gobierna las emociones a través del corazón, órgano de la percepción de la sabiduría que nos hace verdaderamente humanos. Por tanto, tradicionalmente, la inteligencia contiene los medios de acceso de la persona a lo que es esencial y crucial para la condición humana, que se pone de manifiesto a través de actos de caridad, buenas acciones y amor. Reducir la inteligencia a mera razón es como reducir la autotrascendencia a conciencia, rebajando así la condición humana a un nivel por debajo de su potencial; la que resulta degradante y pernicioso.

En este contexto la idea de "inteligencia de máquina" resulta absurda, y sólo podría ser replanteada como "simulación mecánica de racionalidad" u otra descripción semejante. A pesar de todo, seguiré refiriéndome a la "inteligencia" artificial y a la "inteligencia" de la máquina en este libro, ya que se trata de un área de gran importancia dentro de la discusión sobre los computadores. Está claro, sin embargo, que en el marco de un mundo jerárquico las máquinas no pueden ser "inteligentes", si por inteligencia entendemos la más elevada función de la condición humana que vincula al ser humano con lo Absoluto. Por tanto, está claro que, dentro del contexto de los computadores, nos estamos refiriendo a un concepto restringido de inteligencia que significa *la capacidad de aparentar conciencia a través del procesamiento de información racional o lógica*. Esta definición expresa lo que quiero decir cuando empleo la frase "inteligencia artificial (o de la máquina)".

El hecho de que la palabra "inteligencia" se utilice en la discusión sobre computadores es otro aspecto de la forma en que la gente suele manifestar su visión antropomórfica de las máquinas; los comentarios que he hecho sobre el lenguaje y el antropomorfismo contienen elementos que son puntos de crucial importancia en este libro. El lenguaje no está confinado ni mucho menos al

ámbito de los laboratorios de investigación, sino que se ha extendido al ámbito cotidiano, como, por ejemplo, cuando se habla de "lavadoras inteligentes". En círculos informáticos, la "inteligencia artificial" se define como la característica que posee una máquina que en un ser humano podría ser juzgada como inteligencia. Ésta es una descripción referida a las apariencias. Si se argumenta que las máquinas no son inteligentes, o sea, que no son capaces de pensar, podría muy bien responderse: ¿revela inteligencia una persona cuando efectúa operaciones como resolver un ejercicio de aritmética o leer un termómetro? Si la respuesta a esta pregunta es que sí, entonces puede concluirse que los computadores también manifiestan inteligencia, puesto que pueden realizar operaciones aritméticas o leer un termómetro. Éstos, naturalmente, son ejemplos simples —a lo largo de este libro trataremos de aplicaciones de los computadores mucho más complejas—, pero su simplicidad ilustra de forma convincente la fuerza de este punto de vista.

Quisiera hacer cuatro puntualizaciones respecto a este argumento sobre la "inteligencia de las máquinas"; la primera de ellas concierne puramente a la noción de *inteligencia* y a su confusión con la idea de *pensamiento.* Pensamiento no es necesariamente lo mismo que racionalidad o conciencia, sino que es una expresión mucho más general de los "procesos mentales". No es mi intención argumentar que las máquinas no pueden "pensar", en el sentido de que ellas simulan lo que en el ser humano denominamos pensamiento; ni siquiera trato de argumentar que las máquinas no pueden "pensar mejor" que los seres humanos, ya que en términos de velocidad y exactitud, por ejemplo, resulta evidente que son capaces de realizar cálculos mucho mejor que las personas. Mi puntualización es que el "pensamiento" no es lo mismo que la inteligencia, que ya he descrito anteriormente, y que la inteligencia es un atributo más elevado, relacionado con la sabiduría. Las máquinas pueden ser listas, pero no son sabias.

La segunda puntualización que hay que hacer a estas argumentaciones sobre la "inteligencia de las máquinas" es que todas, invariablemente, tienen su raíz en una particular visión del ser humano, al que se considera como una criatura biológica dotada de un ins-

tinto de conservación y con capacidad para procesar información. Este punto de vista resulta de por sí antropomórfico en cuanto a las máquinas; el hombre es redefinido como un reflejo de ellas. En una visión tan reducida, las cualidades y facultades humanas, y la esencia que diferencia lo vivo de lo que no tiene vida, han quedado restringidas y han perdido su sentimiento humano. La comparación hombre-máquina excluye la conciencia individual de la persona, no considera la mente como algo superior al cerebro y niega la existencia de cualquier dimensión espiritual de la realidad. El concepto de "inteligencia de las máquinas" se halla firmemente arraigado en esta ideología.

La siguiente puntualización se refiere al carácter circular del argumento. Cualquier objeción que trate de establecer una diferencia entre la respuesta humana ante una situación determinada y la respuesta de una máquina puede ser contestada imaginando una máquina más poderosa diseñada en respuesta a las críticas. Cualquier otra crítica que pudiéramos oponer podría ser atajada imaginando una nueva máquina capaz de superarla. Más adelante volveré a insistir en este tipo de argumentación y expondré mi última puntualización, que es simplemente el cuestionamiento del propósito.

Volviendo al ejemplo anterior, la diferencia entre una persona que lee un termómetro y un computador que realiza esta misma operación puede ser considerada en términos del propósito de la acción. La persona siente curiosidad por saber la temperatura y lee el termómetro para averiguarla. Un computador vinculado a un termómetro puede transmitir la información que obtiene del sensor de temperaturas al mundo exterior —por ejemplo, mediante una pantalla de televisión—, o utilizar el valor obtenido en algún paso intermedio del proceso que tendrá como resultado un *display o* visualización externa de la información. Sin embargo el propósito de la operación sólo puede ser el del usuario, incluso si éste es impersonal, como podría ser el relé de un termostato. Los computadores no se "sientan a pensar" por el simple placer de hacerlo, ni se dedican a leer la temperatura meramente por curiosidad, y ar-

güir que se podría diseñar uno que lo hiciera sería puro antropomorfismo.

Alan Turing, a quien se considera como uno de los fundadores de la ciencia de la informática en la década de los años cuarenta, adoptó una actitud operacional frente a estas cuestiones sobre la inteligencia y el pensamiento: él consideraba que la prueba de la inteligencia era una cuestión práctica, susceptible de ser definida mediante la realización de una operación. Si efectuar ejercicios de aritmética era una operación que podía definir de forma apropiada la inteligencia, entonces una máquina sería inteligente si fuera capaz de realizar tal operación. Diseñó lo que se conoce como *Turing Test* (o prueba de Turing) para las máquinas que "piensan", basado en esta idea. Se sitúa una persona en una habitación en la que hay dos terminales de computador: una conectada a un computador y otra vinculada a otro ser humano. Utilizando las dos terminales para comunicarse, la persona que está probando el sistema debe tratar de adivinar qué terminal está conectado al computador y cuál a la otra persona. Se considera que el computador ha pasado la prueba y que es capaz de "pensar" si no ha podido distinguírsele del ser humano, a quien atribuimos la capacidad de pensar.

Existen dos problemas con este tipo de prueba. En primer, lugar, se basa en una reducción del "pensamiento" a algo tan carente de connotaciones y cualidades humanas, que podría llegar a argumentarse que ya no parece pensamiento. Así, por ejemplo, la conciencia personal, la experiencia o el conocimiento, no pueden ser considerados en la prueba, a pesar que son elementos esenciales del pensamiento humano. El otro inconveniente es la cuestión del argumento circular, ya mencionada anteriormente: siempre es posible imaginar una máquina capaz de contestar cualquier pregunta, de superar cualquier prueba que podamos inventar; así pues, se podría "demostrar" por simple fuerza bruta la capacidad de pensamiento de las máquinas.

Sin embargo, el auténtico problema de la prueba de Turing reside en el hecho de que es necesario emplear terminales en vez de establecer una confrontación directa. Pensar y responder preguntas es evidentemente algo más que hacer aparecer palabras en panta-

llas de televisión. La prueba no considera estos aspectos; en ella se niegan las cualidades humanas y se establece una equivalencia, bastante impropia, entre el funcionamiento de la máquina y la interacción humana. Semejantes comparaciones sólo contribuyen a empobrecer el concepto que las personas tienen de sí mismas; y esto sólo puede contribuir a agravar sus problemas, no a ayudar a resolverlos. Éste es un burdo caso de proyección antropomórfica que, viniendo de uno de los fundadores de la informática, puede servir para comprender por qué las actitudes que he descrito son tan prevalentes.

En el capítulo siete trataremos de los orígenes de los ordenadores, y se examinará la razón de su desarrollo y por qué se han desarrollado del modo en que lo han hecho. Pero, ya que estamos discutiendo acerca de la actitud antropomórfica frente a los computadores, merece la pena mencionar aquí que una de las propuestas acerca de su origen es que los computadores (y ordenadores en general) fueron construidos desde su concepción como máquinas capaces de "pensar"; o sea, que toda la concepción en que se basan los computadores es antropomórfica. Desde sus orígenes la idea, y de hecho la meta, de la informática fue construir máquinas que pudieran superar al hombre intelectualmente: la noción de la Máquina Ultrainteligente. Esta noción se esconde incluso en las aplicaciones más triviales de la microtecnología. La idea —sugiero— se basa en un error, puesto que da por sentado que la inteligencia es una cualidad abstracta y definible de modo operacional. Es errónea también porque surge de una visión empobrecida del ser humano. Lo que no quiere decir que no sea posible construir máquinas que superen el rendimiento humano en determinadas tareas mentales —puesto que ya han sido construidas—, sino que las implicaciones que subyacen a la idea de la ultrainteligencia son falsas. Esta idea es semejante a la de dar la bienvenida a los invasores del espacio como salvadores de la humanidad, o al deseo de Frankenstein de jugar a ser Dios y producir una criatura que posea todos los atributos de la vida, conciencia y autotrascendencia. Las máquinas, al igual que el monstruo de Frankenstein, no son humanas y no podemos dotarlas con los atributos humanos, a pesar de

que consigamos que lleguen a simular algunos de ellos. Tratar a las máquinas como a seres humanos —aunque sea sólo en parte— supone algo peor que adoptar una actitud "miope".

La actitud frente a la tecnología, y especialmente frente a la informática, es lo que me parece más importante, aunque sea sólo por el hecho de que esta nueva ciencia se ha difundido con tanta rapidez y se ha desarrollado a tal velocidad que casi no podemos asimilar los cambios que está originando. Existe una gran euforia respecto a la microtecnología, aunque también se da la desconfianza y el miedo. En los próximos capítulos presentaré lo que considero que es un útil análisis de las raíces y orígenes de la informática, así como una visión general de sus repercusiones sobre todos nosotros y de las consecuencias de su creciente campo de aplicaciones. Seguiré utilizando las comillas en las palabras que creo que están mal empleadas, para distinguirlas como parte de una jerga y para recordar que su empleo se deriva de una determinada actitud frente a la tecnología de los computadores.

La actitud antropomórfica, que confiere "personalidad" a la máquina, nos lleva por el camino, iniciado por Turing y sus colegas, que conduce a la meta de la "ultrainteligencia". Esta actitud, al igual que la que desea que los dioses desciendan de las estrellas en sus platillos volantes, sitúa al artefacto por encima del hombre, en el lugar de Dios. El salmista parece reconocer esta actitud cuando, refiriéndose a los paganos, escribe:

> Sus ídolos son plata y oro.
> obra de la mano de los hombres;
> tienen boca, y no hablan;
> ojos, y no ven;
> orejas, y no oyen;
> narices, y no huelen;
> sus manos no palpan,
> sus pies no andan;
> no sale de su garganta un murmullo.
> Semejante a ellos serán los que los hacen
> y todos los que en ellos confían.
>
> (Salmos, 115, 4-8)

Basándome en mis lecturas de las obras que se han escrito sobre el tema, en un análisis del modo en que es presentada la tecnología de la informática en los medios de comunicación, y en mis conversaciones sobre computadores con la gente, he llegado a la conclusión de que lo que prevalece es la respuesta entusiasta y la actitud antropomórfica frente a la tecnología de la informática. El computador, la máquina que "piensa", se ha convertido rápidamente en un ídolo de silicio.

2. Hardware y software

Los computadores no son máquinas calculadoras, aunque la mayoría de los computadores son capaces de efectuar cálculos. Tampoco son máquinas procesadoras de información, si bien la mayoría de los computadores procesan información La mayor dificultad al tratar de definir lo que son los computadores reside en la especificidad. Pese a que muchos computadores han sido diseñados para desempeñar funciones generalmente bastante específicas, esto no contribuye necesariamente a definir qué son los computadores en realidad. Una definición satisfactoria sería la siguiente: *Un computador es una máquina que obedece la secuencia de instrucciones que le ha sido ordenada* y *que puede modificar estas instrucciones a la luz de ciertos resultados intermedios.* Esta descripción evita la dificultad que supone tener que enumerar las funciones que pueden realizar los computadores, lo que en general constituiría siempre una lista incompleta; en su lugar, define la máquina en términos del concepto de su funcionamiento: el computador simplemente obedece instrucciones. Qué instrucciones sean, o cómo sean obedecidas por el computador, no es una cuestión importante para la esencia de los computadores. Por encima de cualquier consideración, los computadores son máquinas de propósito general, o máquinas universales. No han sido diseñadas para hacer nada en particular, sino para poder ejecutar cualquier cosa que pueda ser reducida a la forma de una serie adecuada de instrucciones.

Esta definición llama la atención hacia los dos aspectos necesarios para el funcionamiento de un computador, y éste va a ser el tema del presente capítulo. El computador es una máquina: está hecho de componentes físicos (o soporte físico) a los que denominamos genéricamente como *hardware*. Es, además, una máquina que obedece instrucciones; a este conjunto de instrucciones lo denominaremos *software* (o soporte lógico), puesto que su existen-

cia se da en una forma más efímera. Podríamos establecer una analogía entre un computador y un libro: el componente físico del libro, sus páginas, la tinta impresa, etc., constituirían el *hardware*, y el contenido de las palabras e ilustraciones serían el *software*. Al igual que un libro, el computador necesita estos dos elementos complementarios.

Más adelante describiremos cómo se desarrolla la ejecución de las instrucciones, es decir, la interacción del *hardware* con el *software*. La gama de posibles instrucciones escritas es prácticamente ilimitada; en los próximos capítulos mostraremos el modo en que las máquinas obedecen estas instrucciones. Actualmente los computadores no tienen por qué parecer necesariamente computadores. Una herramienta automática, una máquina de hacer café, el juguete de un niño, etc., pueden ser computadores; todos ellos pueden ser máquinas que obedecen una secuencia de instrucciones que les ha sido ordenada.

Sin embargo, hay una segunda parte en la definición que hemos dado que hace referencia a la modificación de las instrucciones llevada a cabo por la propia máquina a la luz de algunos resultados intermedios. El modo más simple en que quedaría satisfecha esta segunda parte de la definición sería modificando la secuencia en que son obedecidas las instrucciones a causa de la obtención de un resultado intermedio. Por ejemplo, si una máquina de café está "informatizada", la secuencia de instrucciones que obedece será modificada según que el usuario apriete el botón de café con leche o el de café solo. En los dos casos deberá producirse una secuencia diferente de órdenes, que la máquina ha de ejecutar para hacer posibles resultados diferentes que se concretarán en la forma de café con leche o café solo.

Sin embargo, la definición que hemos dado no especifica hasta este punto, sino que se limita a hacer constar que las instrucciones pueden ser modificadas. Alterar la secuencia de las instrucciones es, ciertamente, una manera de modificarlas, pero nuestra definición implica que el computador también puede, de algún modo, modificar sus propias instrucciones independientemente de ellas. Sin embargo, esto no es del todo cierto, puesto que es necesaria la

intervención de un resultado intermedio; o sea, que se tiene que dar algún tipo de *input* adicional (entrada) que provoque la modificación. De un modo simple podemos imaginárnoslo como algo semejante a un sistema de realimentación, en el que el proceso es modificado continuamente por efecto de su propia acción (un termostato, p. ej.). Un computador puede, efectivamente, modificar su progresión a través de una serie de instrucciones, analizando los resultados de cada paso que da; aunque, naturalmente, tal sistema de realimentación ha de estar también sujeto a determinadas instrucciones. La definición es bastante amplia y, en apariencia, bastante exigente, pero los computadores —en principio— pueden modificar su propio *software* como resultado de la interacción del *hardware* y el *software*. En la investigación sobre "inteligencia artificial" y en computadores diseñados para "aprender" es en donde más abunda este tipo de modificaciones.

Así pues, los computadores son máquinas de propósito general o universal capaces de hacer cualquier cosa que pueda ser expresada en forma de una serie de instrucciones apropiadas, suponiendo, claro está, que se disponga del *hardware* adecuado capaz de ejecutar dichas instrucciones. No tendría sentido ordenar a un microcomputador personal que nos sirva café con leche, a menos que esté conectado a un aparato de hacer café. Sin embargo, una máquina concreta puede estar específicamente dedicada a un propósito particular —por ejemplo, a hacer y servir café— y ser un computador. Es el concepto de computador lo que hemos definido, y ninguna máquina en particular puede en sí servir para todo tipo de propósito.

Conceptualmente los computadores son muy simples. A pesar de su sofisticación tecnológica (se trata de máquinas técnicamente muy complejas), sólo pueden realizar unas cuantas operaciones. Lo que puede hacer un computador en realidad puede reducirse a sólo cuatro funciones. Un computador puede:

1. Pasar información entre él y el mundo exterior.
2. Almacenar y mover información internamente.
3. Combinar cantidades.
4. Efectuar operaciones lógicas.

Las dos primeras funciones no suponen más que la transmisión de información de un lugar a otro y no necesitan más comentario. La combinación de cantidades, o adición, puede parecer una función limitada, pero, aunque en principio el computador sólo necesita sumar, en realidad es capaz de efectuar todas las operaciones aritméticas. La multiplicación puede ser efectuada mediante sucesivas adiciones, y existe un método numérico denominado "sustracción por complementarios" que permite la resta de cantidades simplemente por adición. Por tanto, la división, que puede ser considerada como una sucesión de restas, puede también ser efectuada por una máquina que sólo puede sumar.

Los computadores también son capaces de establecer comparaciones en el sentido de simples operaciones lógicas consecutivas, en la forma representada por las palabras Y, O, NO *(and; or; not).* "Si *x* Y *y*, entonces *z*", "Si *x* O *y*, entonces *z*", son típicos planteamientos que implican la realización de comparaciones, en el sentido en que lo hacen los computadores. La combinación de las funciones lógicas permite a los computadores obedecer una amplia gama de posibles instrucciones. Pese a la aparente limitación de sus posibilidades —tan sólo cuatro funciones—, éstas son muy versátiles, puesto que están complementadas por varias otras características de los computadores.

En primer lugar, los computadores son rápidos. Pueden mover la información de un sitio a otro, y también pueden sumar y comparar datos con gran rapidez. Frecuentemente se considera la velocidad de una máquina en términos del número de adiciones que puede efectuar en un segundo. Una máquina lenta puede realizar sólo varios cientos de adiciones por segundo; en el mismo espacio de tiempo una máquina rápida puede efectuar varios millones de sumas.

Los computadores son además máquinas automáticas; una vez han recibido las instrucciones para hacer algo, pueden llevar a cabo la tarea automáticamente, sin más intervención humana. Al contrario que un coche, que necesita una continua supervisión por parte del hombre para funcionar correctamente, las máquinas automáticas —como por ejemplo los relojes o los computadores—

sólo necesitan ser puestas en marcha y funcionan por sí mismas. Otra de las características de los computadores es que son muy industriosos, en el sentido de que continúan obedeciendo las instrucciones recibidas sin importar su número o el tiempo que ello suponga. Los computadores no se cansan, no necesitan tomar vacaciones ni recibir un salario, pueden trabajar día y noche, y no se declaran nunca en huelga. Naturalmente, exigen cierto mantenimiento y alimentación eléctrica, pero una vez satisfechas estas dos condiciones el computador trabajará con rapidez, automática e industriosamente. Tanto si se le ordena a la máquina que sume diez números, como diez millones, ésta obedecerá la orden y no dejará de funcionar hasta que finalice la tarea. Es perfectamente posible instruir a un computador para que continúe haciendo algo *ad infinitum;* el computador repetirá la tarea que se le haya encomendado hasta que lo paremos o lo desconectemos.

Pese al hecho de que los computadores sólo pueden desarrollar cuatro funciones, son máquinas "universales", puesto que pueden realizar un número casi ilimitado de tareas. Poseen un alto grado de versatilidad, que se debe a la combinación de las características que hemos mencionado —velocidad, industriosidad y funcionamiento automático— con sus cuatro funciones; esta versatilidad les capacita para desarrollar múltiples y complejas funciones. Lo único que se necesita —y esto puede no ser tan fácil como parece— es reducir el objetivo deseado a una serie de operaciones simples que puedan ser realizadas por las cuatro funciones del computador. El objetivo puede consistir en construir un modelo de la atmósfera de la Tierra, en simular el vuelo de una aeronave o en realizar los cálculos necesarios para elaborar las nóminas de una gran empresa. En cualquier caso, las instrucciones han de ser definidas en una forma simple que permita a la máquina llevarlas a cabo. La versatilidad del computador se consigue a través de la ingeniosidad de las instrucciones escritas, no por alguna propiedad intrínseca de la máquina.

Una última característica que hay que mencionar es la precisión. Los computadores realizan con precisión lo que se les ordena, siempre y cuando las instrucciones estén de acuerdo con su

capacidad. Incluso una simple calculadora de bolsillo hará aparecer la palabra "Error" si le ordenamos que realice una operación ilógica, como, por ejemplo, calcular la raíz cuadrada de un número negativo. Si le pedimos a un computador que sume seis más cuatro y, sin damos cuenta, pulsamos la tecla de – (menos) en vez de la de + (más), el resultado que obtendremos será dos en lugar de diez. La máquina habrá realizado exactamente lo que le hemos pedido. No pueden darse imprecisiones, a menos que el computador sea de algún modo defectuoso; si funciona bien, las respuestas confusas o erróneas y cualquier tipo de equivocación se deberán, por lo general, a unas instrucciones imprecisas o que no expresan del modo adecuado el propósito del usuario. Uno puede pensar que ha ordenado al computador ejecutar exactamente lo que quería, pero puede haber un fallo en las instrucciones o en la información que se ha proporcionado al computador para que opere de acuerdo a las instrucciones.

A pesar de su precisión, puede que los computadores no sean siempre completamente exactos. Esto no quiere decir que si se le ordena a un computador que sume 2 + 2 responda unas veces que 3 y otras que 5, porque no se le dé muy bien la aritmética. Los computadores darán una respuesta exacta siempre que se trate de casos bien definidos como éste, pero quizá sean menos precisos cuando se trata de problemas más complicados. Así, por ejemplo, la raíz cuadrada de 10 es 3,162; ¿o no? Ciertamente, ése es el resultado cuando consideramos sólo tres decimales, pero si consideramos cuatro, el resultado es 3,1623; y si consideramos cinco, 3,16228. La raíz cuadrada de diez no es una fracción simple; al igual que la raíz cuadrada de dos, es un número "irracional'; no puede ser representado en forma de fracción simple de dos enteros. En un computador un número de este tipo ha de ser aproximado, o sea, redondeado a cierto número de decimales, lo que estará determinado por el tamaño y la complejidad de la máquina en cuestión. Yo mismo he utilizado dos calculadoras de bolsillo: una simple y barata, y otra más sofisticada, y también más cara. Al calcular la raíz cuadrada de diez, las dos máquinas dan como resultado 3,1622777. Si calculamos la raíz cuadrada de este número obtene-

mos en las dos calculadoras 1,7782794. Elevando al cuadrado este resultado por dos veces consecutivas tendría que volver a obtenerse el número 10. Sin embargo, una de las calculadoras da como resultado 10,0000000, mientras que en la otra aparece 9,9999999. La calculadora más barata nos da un resultado menos exacto (aunque sólo sea incorrecto por 0,0000001), porque no puede redondear hasta tantos decimales como la máquina más cara. Este tipo de errores —que se deben al modo en que los números son representados en un computador— puede irse acumulando y, pese a la precisión de la máquina, dar lugar a resultados incorrectos.

De todos modos, antes de acusar a una máquina de inexactitud el usuario tendría que haber comprendido esta limitación en las operaciones numéricas, y trabajar con datos y resultados compatibles en precisión. La exactitud de la respuesta dependerá del eslabón más débil de toda la serie de operaciones que tenga que efectuar la máquina, y en ciertos cálculos el error puede llegar a acumularse de forma inconveniente. En la práctica, cuanto más sofisticado sea el computador más posibilidades hay de que los resultados sean exactos, puesto que existen ya técnicas que permiten superar este problema. Aparte de esta cuestión de exactitud y error, los computadores son exactos en lo que se refiere al cumplimiento de las reglas y a la correcta ejecución de las instrucciones.

Como ya he dicho anteriormente, los computadores son conceptualmente simples; trataré ahora de ilustrar su simplicidad estructural (teniendo siempre presente la complejidad de sus circuitos internos, etc.). Esencialmente, los computadores se componen sólo de tres partes, representadas esquemáticamente en la figura 1. Estas partes son una unidad central de proceso —en la que se realizan las operaciones del computador— conectada a las otras dos: un dispositivo de entrada *(input)* y otro de salida *(output).* La unidad central de proceso, denominada también CPU (del inglés *Central Processor Unit)* en la jerga de la informática, es el verdadero "cerebro" del computador. Los dispositivos de entrada y salida son los vínculos que comunican al computador con el mundo exterior. La unidad de entrada puede ser simplemente un teclado y la unidad de salida, un dispositivo que permita una representación visual,

como por ejemplo una pantalla de televisión. El conjunto de estas tres unidades constituye el sistema completo.

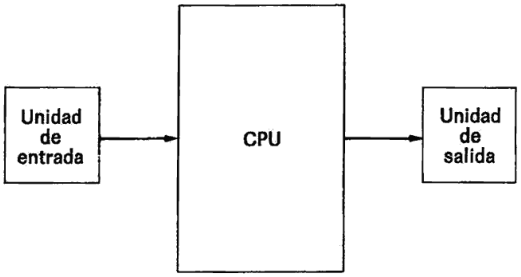


Fig. 1. Diagrama de la estructura elemental de un computador, que consta de una unidad de entrada, una unidad de salida y una unidad central de proceso (CPU).

La unidad central de proceso puede ser imaginada simplemente como una caja misteriosa en la que las instrucciones son obedecidas, pero merece la pena dar algunos detalles sobre su estructura interna. Como nos muestra la figura 2, la CPU se compone de tres áreas o partes esenciales: la unidad de control, la memoria y la unidad aritmético-lógica (UAL). La unidad de control, como su nombre indica, es la que se ocupa de supervisar el funcionamiento interno de la máquina. Contiene las instrucciones incorporadas a la máquina, que son independientes de las instrucciones que dé el usuario para la realización de una tarea en particular. La unidad de control está conectada a la mayoría de las partes de la máquina, y "sabe" el estado en que se encuentran las partes importantes del sistema. Por ejemplo, controla si la impresora está disponible para imprimir o si está siendo utilizada; "sabe" si los programas han sido almacenados en la memoria, etc. La unidad de control supervisa la ejecución de cada tarea en particular, "lee" las instrucciones, envía información a los lugares en donde será almacenada o procesada, y lleva a cabo todas las demás tareas de gobierno "doméstico". Pero, sobre todo, la unidad de control asegura que las instrucciones sean obedecidas en la secuencia correcta.

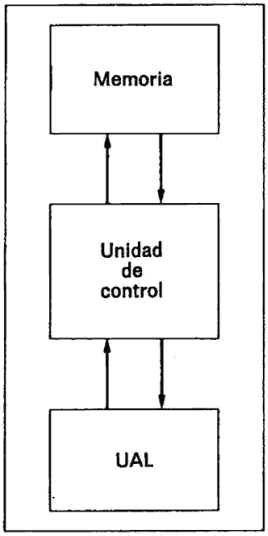


Fig. 2. Estructura de la unidad central de proceso, en la que se muestra la unidad de control, la memoria y la unidad aritmético-lógica (UAL).

La memoria es la parte de la máquina en donde se almacenan la información, las instrucciones y los resultados, durante la realización de una tarea determinada. La memoria, en el sentido que consideramos aquí, es la parte del espacio total de almacenamiento accesible a la máquina que se encuentra físicamente dentro de ella, en la CPU. Es una memoria interna, en contraste con la memoria externa, que puede tomar la forma de "archivos", cintas magnéticas, discos magnéticos, e incluso tarjetas o cintas perforadas. El tamaño de los computadores se expresa frecuentemente en términos de la capacidad de almacenamiento de su memoria interna. En 1K bytes de memoria pueden almacenarse mil caracteres (dígitos, letras y símbolos), siendo K = 1.024 o 2^{10}. Se habla de computadores de 8K, 32K o 64K, en relación con el tamaño de su memoria interna, el espacio de almacenamiento accesible directamente a la unidad de control durante el funcionamiento de la máquina, en el cual han de ser almacenadas las instrucciones, los datos y los resultados.

Esta memoria interna puede ser enormemente ampliada mediante almacenes de memoria externa (o auxiliar) fácilmente acce-

sibles. Los sistemas de almacenamiento más típicos son cintas y discos magnéticos, y tarjetas y cintas de papel perforadas; estos sistemas permiten a la máquina "leer" rápidamente los datos y transmitirlos a su memoria interna. Los pequeños computadores, destinados principalmente a uso doméstico, pueden ser conectados a un magnetófono de cassettes ordinario, de modo que instrucciones y datos pueden ser almacenados en la cinta-cassette. Los computadores personales más caros emplean pequeños discos flexibles *(floppy-discs) o diskettes*, que no son más que discos magnéticos no muy diferentes de los discos de música. Los discos y las cassettes pueden almacenar un número equivalente de datos, pero los discos pueden ser leídos por la máquina con mucha más rapidez y resultan más eficaces debido a que la cabeza de lectura puede desplazarse a cualquiera de las pistas del disco, mientras que con la cassette hay que rebobinar la cinta hasta llegar a la parte requerida. Los grandes computadores emplean tanto cintas como discos magnéticos, en los que pueden almacenarse grandes cantidades de información (millones de caracteres), aunque, naturalmente, los grandes ordenadores disponen de grandes memorias internas.

La unidad aritmético-lógica (UAL) es la sección del procesador o módulo central en donde tiene lugar la adición y comparación de la información. Es el "taller" de procesamiento, según fue denominado por Charles Babbage en su obra —pionera en el tema— sobre computadores, escrita en el siglo XIX. Desde la memoria, y bajo la supervisión de la unidad de control, los números son enviados hasta esta sección para ser sumados (restados, multiplicados o divididos) o comparados. Todas las operaciones matemáticas (aritméticas o geométricas) o lógicas que se realizan con la información se llevan a cabo en esta sección del computador.

Esta breve consideración sobre la memoria externa puede también orientamos acerca del modo en que se puede introducir información en el computador. Los dispositivos de lectura de cintas, discos, tarjetas y cintas perforadas son formas de entrada *(input)* cuando la información es "leída"; aunque pueden ser también formas de salida *(output)* cuando la información es "escrita" de

nuevo en las cintas, perforada en las tarjetas, etc. La terminal con teclado o teletipo es la forma más evidente de entrada, aunque hay otros muchos sistemas para introducir información en la máquina. El dispositivo que "lee" el código de rayas blancas y negras que podemos ver en los libros de una biblioteca o en las latas del supermercado, es otro de los sistemas de lectura de un computador. Las señales eléctricas de un voltímetro, de un termómetro digital o de cualquier otro instrumento apropiado, pueden conectarse a un computador y constituir otra forma de entrada, al igual que lo serían un micrófono o una cámara de televisión. Los conmutadores o cualquier dispositivo sensible pueden ser también unidades de entrada; de hecho, pueden encontrarse sistemas de entrada que corresponderían a los sentidos de la vista, el oído, el tacto, e incluso el gusto. Las sondas para el control de reacciones químicas se emplean como entradas para el computador cuando la máquina se utiliza, por ejemplo, para controlar un proceso químico industrial.

De igual modo, las unidades de salida no se limitan a la impresora o a la pantalla de televisión, sino que pueden ser muy variadas. La salida puede ser el mecanismo de control de la cuchilla de una herramienta automática, la unidad de representación visual de un reloj digital, o un altavoz que produzca sonidos capaces de sintetizar la voz humana o la música. El campo de posibilidades sólo está limitado por la imaginación y el ingenio. Como ya he dicho anteriormente, los computadores ya no tienen necesariamente que parecer computadores: sus entradas pueden consistir en teclas, válvulas y termostatos de funcionamiento eléctrico, etc.; sus salidas pueden ser flujos de agua o giros mecánicos. El computador puede parecer simplemente una lavadora, pero en realidad es una máquina que obedece una secuencia de instrucciones previamente ordenada.

La figura 3 ilustra las interconexiones del sistema completo de un computador, mostrándonos cómo la unidad central de control se halla conectada a todas las restantes unidades periféricas para hacer posible la manipulación y el tratamiento de la información en el sistema, y para llevar a cabo el control de todas las unidades. Podemos ver cómo las unidades de memoria externa pueden fun-

cionar como unidad tanto de entrada como de salida de datos e instrucciones, y que toda la información de las unidades de entrada y salida está dirigida por medio de la memoria interna, que es la unidad en donde las instrucciones y los datos son almacenados mientras tiene lugar el proceso.

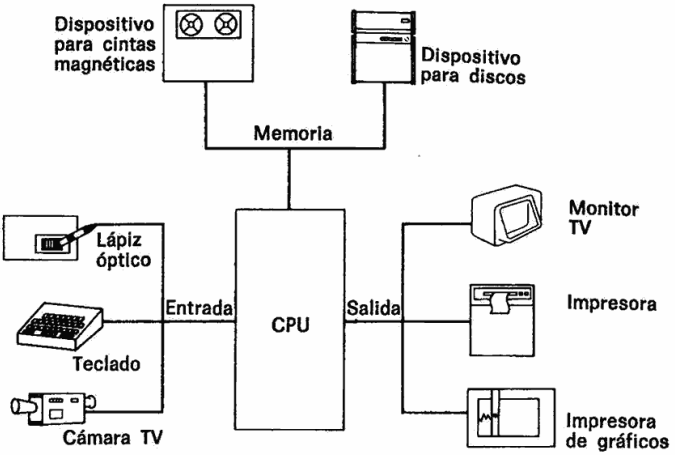


Fig. 3. Diagrama esquemático del sistema completo de un computador, que muestra varias unidades de entrada y de salida, y dispositivos de memoria externa.

Una vez comentada la estructura del *hardware*, es importante decir algo acerca de su funcionamiento, antes de pasar a estudiar el *software, o* soporte lógico. Como hemos dicho al comenzar el presente capítulo, el modo en que funcionan los computadores es esencialmente simple, a pesar de la posible complicación de los detalles prácticos. Los computadores son máquinas eléctricas y funcionan por medio de la transmisión de impulsos eléctricos a través de sus circuitos, mediante la combinación y la comparación de las señales eléctricas. La naturaleza de estas señales es simple en cuanto a lo que al computador se refiere, ya que no son otra cosa que la presencia o ausencia de un impulso eléctrico o magnético. Todo lo que se necesita es una provisión de instrucciones e información que ha de estar representada por la presencia o ausencia de impulsos eléctricos.

El sistema decimal, con el que estamos familiarizados, se basa en diez dígitos, del 0 al 9, pero es posible construir otros sistemas con cualquier cantidad de dígitos que resulte conveniente. El sistema numérico más simple tiene sólo dos dígitos, 0 y 1, y es denominado sistema de numeración binaria o sistema binario. El sistema binario, al igual que el sistema decimal, puede emplearse para representar cualquier número por medio de una determinada secuencia de los dígitos, y obedece a las mismas reglas de representación numérica. En el sistema decimal, cuando se llega al último dígito, 9, el número siguiente se construye volviendo a empezar con el dígito 0, poniendo un 1 en la columna que está inmediatamente a la izquierda; esto nos daría el familiar número 10. En el sistema binario se aplica esta misma regla; cuando llegamos al último dígito de que disponemos se vuelve a poner el 0 y nos "llevamos" 1. La única diferencia entre los dos sistemas es que en el binario los dígitos se agotan con mucha más rapidez. Los números del 1 al 10 se representan en el sistema binario de la siguiente forma:

Decimal	Binario
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

En el sistema decimal se empieza una nueva columna a cada potencia de diez, es decir, cuando llegamos a los números 10, 100, 1.000 etc.; en el sistema binario se comienza una nueva columna a cada potencia de 2, o sea, al llegar a los números 2, 4, 8, 16, 32, 64, etc. Para distinguir entre los dígitos decimales y los binarios, nos referimos a los binarios como *bits*. Los bits pueden combinarse formando "palabras", y el tamaño de "palabra" que puede manejar

un computador depende de la máquina concreta en cuestión. La longitud de la palabra puede ir de 2 a 64 bits. El equivalente decimal de un número de 8 bits estaría alrededor de 500, lo que supondría un campo demasiado limitado para la mayoría de las máquinas. Un número de 60 bits sería del orden de 10^{18} (o sea, un trillón) en el sistema decimal, aunque es posible expresar números mucho mayores, utilizando diferentes métodos de anotación, con el mismo número de bits. Las "palabras" binarias pueden formarse con grupos de 8 bits, denominados bytes. Ocho bits pueden combinarse de 512 formas diferentes, de modo que con cada grupo de ocho bits se pueden representar los diez dígitos decimales, las letras del alfabeto mayúsculas y minúsculas, y dejar todavía un amplio número de combinaciones para representar signos de puntuación, símbolos matemáticos, etc. Así pues, las palabras y los números pueden ser codificados en notación binaria empleando para ello "palabras" binarias formadas por grupos de 8 bits, o bytes. Por ejemplo, si las 26 primeras combinaciones (la forma binaria de los números del 1 al 26) representan las letras del alfabeto, de la A a la Z, la palabra *word* (en inglés, palabra) sería representada de la siguiente manera:

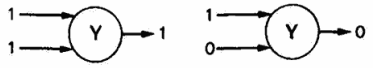
00010111	00001111	00010010	00000100
W	O	R	D

Cada combinación de 8 bits puede representar un carácter; una amplia gama de caracteres numéricos y alfabéticos puede ser incorporada a este sistema de notación. El bit 0 (cero) puede ser representado por la ausencia de señal eléctrica, y el bit 1 por la presencia de dicha señal, de manera que toda información en palabras o números pueda ser manipulada por un computador en términos de presencia o ausencia de señales eléctricas. La notación binaria, la forma más simple de lenguaje, nos proporciona la base del funcionamiento de los computadores.

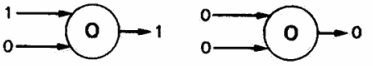
Los componentes eléctricos, como los transistores o sus equivalentes microelectrónicos (sobre los que hablaremos más extensamente en el cap. 3), pueden ser utilizados como *puertas lógicas*, *o* sea, como componentes que simulan electrónicamente operacio-

nes lógicas. Las tres puertas lógicas más elementales realizan las operaciones lógicas Y, O, NO *(and, or, not,* en inglés).

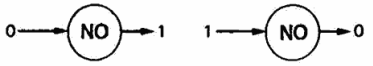
La puerta que corresponde a Y da salida al 1 (presencia de señal) cuando ambas entradas son 1, es decir, 1 Y 1 da 1; de otro modo el resultado será 0.



La puerta electrónica que corresponde a O (or) dará el resultado 1 cuando cualquiera de las entradas sea 1; el resultado será 0 (cero) cuando ambas entradas sean 0 (cero):



Finalmente la puerta que corresponde a NO simplemente invierte la entrada:



Existen puertas lógicas mucho más complejas, pero el principio básico de su funcionamiento queda demostrado suficientemente con la selección de ejemplos expuesta. Para más detalles e información sobre los circuitos que realizan las funciones lógicas y sus componentes consúltense los libros de texto apropiados.

La aritmética binaria es bastante simple; en el caso de la adición presenta sólo cuatro posibilidades:

0 + 0 da 0 y nos llevamos 0
0 + 1 da 1 y nos llevamos 0
1 + 0 da 1 y nos llevamos 0
1 + 1 da 0 y nos llevamos 1

Lo que podría reducirse a tres posibilidades, puesto que dos de ellas son equivalentes. Todos estos casos pueden ser simulados

eléctricamente mediante una distribución apropiada de las puertas lógicas o electrónicas, como la que se esquematiza en el siguiente ejemplo:

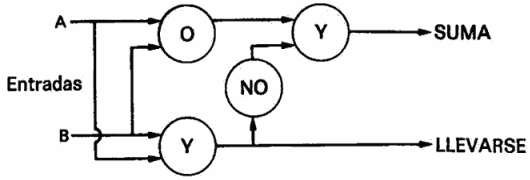


Fig. 4. Esquema de una distribución de puertas lógicas combinadas para la simulación de la suma.

Cuando ambas entradas son 1, las puertas lógicas O e Y darán como resultado 1. El 1 procedente de la puerta Y aparecerá como "llevarse" 1; esto será invertido en la puerta NO, de modo que a la segunda puerta Y llegarán las entradas 0 (cero) y 1, por tanto en la suma el resultado será 0 (cero). El lector puede considerar por sí solo las demás variantes. Este circuito satisface todos los casos de adición binaria.

Haciendo pasar señales eléctricas, posiblemente en grupos de ocho bits, a través de circuitos similares al del esquema de la figura 4, los computadores son capaces de ejecutar todas las funciones para las que han sido diseñados, y éstas pueden ser manipuladas para cualquier aplicación concebible que pueda ser escrita en forma de una secuencia de instrucciones simples.

Los computadores son en principio máquinas bastante simples; sin embargo, la idea de escribir instrucciones en términos de ceros (0) y unos (1) —lo que permitiría a un computador calcular, por ejemplo, los impuestos sobre la renta de varios millones de personas— parece estar muy lejos de ser algo simple. Las instrucciones tienen que ser expresadas en un lenguaje, y en la informática existen no sólo diferentes lenguajes sino también varios niveles de lenguaje informático. Esta estructura jerárquica permite simplificar relativamente complejos problemas de instrucción, hasta el punto de que las personas son capaces de aprender en muy poco tiempo los conocimientos elementales suficientes para dar a un computador las instrucciones necesarias para que realice una tarea sim-

ple. A un conjunto de instrucciones se le denomina *programa,* y la programación de un computador puede ser llevada a cabo a diferentes niveles de esta jerarquía de lenguajes.

En el nivel más básico —en lo que a la máquina respecta— las instrucciones deben estar en forma de dígitos binarios, o sea, en forma de presencia o ausencia de señales eléctricas. La máquina ha de tener incorporada una serie de instrucciones para poder llevar a cabo las funciones fundamentales, como la interpretación de las señales de entrada, la canalización de los bits, la adición y comparación de bits o bytes, y la transmisión de señales a la unidad de salida. Estas instrucciones son las funciones integrales del procesador central, y especialmente de la unidad de control. Son las señales que hacen posible que la máquina funcione.

En el nivel inmediatamente superior a estas instrucciones de funcionamiento se encuentran los códigos de instrucciones de cada fabricante. Son códigos de instrucciones binarias para los que la máquina ha sido diseñada y que la máquina interpreta y obedece. Aunque pueden parecer instrucciones muy básicas, incluyen múltiples tareas "comprensibles" para la máquina. Por ejemplo, puede haber un código para "sustraer", que suponga la realización de varias operaciones en el procesador central. Los códigos y los programas de cada máquina en particular, y de cada fabricante, pueden estar integrados de modo permanente en la máquina o ser introducidos al ponerla en funcionamiento.

La mayoría de las máquinas permiten que el usuario escriba sus propios programas en el lenguaje-máquina, en el que cada instrucción será escrita en forma de "palabra" binaria, que será la que representará la naturaleza de la instrucción, por ejemplo "suma" *(add),* en combinación con una "dirección" *(address)* referente a la localización en la memoria a la que se ha de pedir o enviar. Los computadores se venden con su manual, en el que figuran los códigos de la máquina, diseñados por los fabricantes para toda la gama de funciones que la máquina puede desarrollar dando las instrucciones necesarias al procesador central.

Un nivel intermedio en la jerarquía de "lenguajes" es una forma de "lenguaje ensamblador". Para facilitar al usuario la progra-

mación los códigos pueden ser expresados mediante siglas, como por ejemplo ADD, SUBT, MULT, DIV, para las funciones aritméticas, que necesitan ser transformadas en códigos binarios del lenguaje-máquina para que puedan ser puestos en práctica por la máquina. Un conjunto de instrucciones, escritas en código binario, al que se denomina "ensamblador", se encarga de traducir las señales de entrada —como ADD o MULT— al código binario apropiado. Esta posibilidad permite al programador escribir los códigos de instrucciones para la máquina de un modo más comprensible, sin tener que ceñirse constantemente a una lista de códigos binarios con la que sería muy fácil equivocarse. Ya hemos visto que los computadores son máquinas rápidas y precisas, muy adecuadas para la ejecución de tareas repetitivas y monótonas. La conversión de palabras en códigos binarios es precisamente uno de los tipos de trabajo que mejor pueden desarrollar, lo que posibilita el diseño de diferentes tipos de lenguaje ensamblador que se adapten a los diferentes tipos de computadores.

Los lenguajes y códigos que hasta ahora hemos mencionado están orientados a la máquina, es decir, son específicos para cada modelo concreto de computador. Los lenguajes de alto nivel son lenguajes de propósito general y, en principio, pueden ser "entendidos" por cualquier máquina. Estos lenguajes a menudo están diseñados para que al usuario le sea más fácil programar el computador para resolver un tipo de problema específico. Así pues, hay lenguajes especialmente diseñados para las ramas del comercio, para contabilidad, para los trabajos científicos, etc. Los lenguajes de alto nivel también han sido escritos para que se asemejen lo más posible a los lenguajes "naturales", como el inglés, etc. En este sentido serían también versiones ampliadas del lenguaje ensamblador, y dependen de que la máquina las interprete y las transforme en códigos binarios.

A pesar de que los lenguajes de alto nivel intentan emular el lenguaje natural, son formas de lenguaje muy primitivas, con una serie de normas gramaticales muy rígidas y precisas. Cualquier error en la colocación de los puntos o las comas provocará la interrupción de la realización del programa, ya que, hoy por hoy, los

computadores no son todavía capaces de "interpretar" los errores (al menos no hasta un punto que merezca la pena considerar). De cualquier modo, un programa de computador escrito en lenguaje de alto nivel debería ser relativamente comprensible para una persona no instruida en la programación de computadores. Por ejemplo, el programa que exponemos a continuación será fácilmente comprensible:

1. ENTRADA (INPUT) A
2. ENTRADA (INPUT) B
3. SUMA (LET SUM) = A + B
4. IMPRIME SUMA (PRINT SUM)

Estas instrucciones ordenan simplemente la suma de dos números y la impresión del resultado de dicha suma; los números serían indicados probablemente mediante el teclado de la unidad de entrada. El programa no especifica qué números son, sino que los representa mediante símbolos; las letras A y B en nuestro caso. Al ordenar la ejecución de este programa, el usuario podría pulsar la tecla correspondiente al número 2 y después la del 3, y la unidad de salida le daría 5 como respuesta. La siguiente vez que se ejecute el programa (y empleamos el término técnico "ejecutar"), los números de entrada podrían ser 3647 y 8728, y el resultado que aparecería impreso sería 12375. En sí, y dentro de su campo, el programa es general: sumará cualquier par de números que le sean indicados.

Para poder utilizar un lenguaje de alto nivel es necesario que la máquina disponga de un programa-código que traduzca el lenguaje de alto nivel (avanzado) a las instrucciones apropiadas para la máquina. Este tipo de programa se denomina *compilador* —ya que "compila" las líneas del programa en secuencias de instrucciones para la máquina— o *intérprete*, que viene a ser aproximadamente lo mismo. Como programa, el compilador puede ser introducido en la memoria interna cuando se necesite operar con él, o estar almacenado permanentemente en ella. Los grandes computadores pueden disponer de varios compiladores, de forma que los diferentes usuarios puedan escribir sus programas en diferentes lenguajes.

Los compiladores son específicos para cada máquina; en cambio, los lenguajes de alto nivel deberían ser universales, al menos en principio.

Hay ya varios cientos de lenguajes de alto nivel, y muchos de ellos han sido diseñados para aplicaciones bastante específicas. Los más conocidos y difundidos son el FORTRAN, el ALGOL, el COBOL y el BASIC. Los dos primeros son los más indicados para los cómputos numéricos, mientras que el lenguaje COBOL ha sido diseñado para el campo de los negocios y el comercio. El BASIC (siglas de *Beginners' All-purpose Symbolic Instruction Code* = CÓDIGO DE INSTRUCCIONES SIMBÓLICAS DE USO GENERAL PARA PRINCIPIANTES) fue diseñado como una modalidad simple y básica de lenguaje de alto nivel, fácil de asimilar y comprender, aunque no resulta muy eficaz para elaborar programas sofisticados o complejos. En los últimos años se han desarrollado lenguajes, como el PASCAL, PL/1, y ALGOL 68, que permiten que los programas contengan potentes datos y estructuras de información, lo que aumenta la "naturalidad" del lenguaje, la eficiencia y el campo de aplicación del computador. Estos lenguajes tratan de combinar las ventajas de muchos de los lenguajes más antiguos y de fomentar la sofisticación de la programación de propósito general.

El *software*, o sea, el conjunto de programas (series de instrucciones) y ficheros (serie de datos para ser procesados), determina el cometido específico, lo que es necesario para que el *hardware* del computador —que en principio es de propósito general— pueda tener alguna utilidad. El programa proporciona la secuencia de instrucciones que la máquina ha de obedecer, aunque para que pueda llevarse a cabo la "ejecución" del programa es necesario que primero sea compilado.

En la práctica, lo que se suministra al computador como entrada es un programa-fuente, es decir, un conjunto de instrucciones escritas en un lenguaje de alto nivel. Cada línea de instrucciones, que llegan al computador en forma de señales eléctricas (bytes de 8 bits) a través de la entrada, ha de ser compilada, o sea, traducida, al código de instrucciones de la máquina, y almacenada en la memoria de la unidad central de proceso. Una vez que todo el pro-

grama ha sido "leído" por el computador, el usuario puede dar una orden para que el programa sea ejecutado; la orden (p. ej., RUN, en el lenguaje BASIC) será "comprendida" por la unidad de control, que extraerá entonces de la memoria la primera instrucción y obedecerá lo que ésta le exija. Después extraerá y obedecerá la segunda instrucción, y así hasta que haya ejecutado todo el programa. En el ejemplo de programa simple que hemos dado anteriormente, las dos primeras instrucciones exigen que el usuario proporcione los números para que la unidad de control los recoja de la entrada y los almacene en la memoria. La tercera instrucción manda enviar el número A a la UAL, recoger el número B, sumarlo a A y enviar el resultado a un lugar determinado de la memoria. La cuarta y última instrucción exige enviar el resultado de la suma desde la memoria al canal de salida apropiado. Parece mucho trabajo sólo para sumar dos números, pero cada estadio del proceso debe ser realizado de un modo preciso y ordenado. Sin embargo, los computadores funcionan con tal rapidez que la delicada y compleja naturaleza de su modo de funcionar no representa ningún inconveniente para el usuario. Pero esta rapidez no siempre ha sido posible: se ha logrado gracias a los avances tecnológicos, y es este aspecto el que consideraremos a continuación.

3. El chip y el cambio

El computador fue originalmente una idea que se adelantó a su tiempo. Cuando durante el segundo cuarto del siglo XIX Charles Babbage concibió una máquina computadora universal, todavía no existía la tecnología necesaria para construir su *máquina analítica.* En efecto, aún tuvo que transcurrir un siglo para que se empezaran a construir los modernos computadores, y éstos eran lentos, aparatosos y poco fiables.

En 1944 el Harvard Mark I se convirtió en el primer computador moderno, aunque su funcionamiento no era completamente electrónico, puesto que parte del mecanismo funcionaba mediante engranajes y poleas. En 1946, sin embargo, se construyó el ENIAC, que puede ser considerado el primer computador de funcionamiento totalmente eléctrico. ENIAC son las siglas de Electronic Numerical Integrator and Calculator. Pesaba unas 30 toneladas, consumía 140 kilovatios de electricidad —lo cual suponía enormes problemas de refrigeración— y ocupaba toda una gran habitación. El ENIAC podía sumar dos cantidades en un quinto de milésima de segundo y se componía de unas 18.000 válvulas de vacío. Hacia finales de la década de los años cuarenta se construyeron otros computadores basados en la válvula de vacío, pero la cibernética no hubiera podido progresar si no se hubiera inventado el transistor. Cuando un computador, como el ENIAC, necesitaba 18.000 válvulas para funcionar, se producían a diario fallos y averías en las mismas, y el tiempo que se perdía en localizar y reponer los componentes fundidos aumentaba según aumentaba el tamaño del computador. Incluso con el mismo ENIAC se empleaba más tiempo en buscar las válvulas fundidas que en hacer funcionar el computador; por tanto, era necesario descubrir una alternativa a la válvula de vacío. Muy oportunamente, en 1948, John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley inventaron el transistor en los laboratorios de la Bell Telephone Company.

Los computadores están constituidos esencialmente por interruptores. Un interruptor puede estar encendido o apagado, por tanto su estado puede representar un dígito binario. Combinando una serie de interruptores en un circuito eléctrico pueden construirse las unidades necesarias para constituir un computador completo. Las válvulas de vacío que se utilizaron en las primeras máquinas pueden ser simplemente consideradas como interruptores, y a menudo no eran otra cosa que diodos. Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en una dirección, pero no en la otra. De hecho, en los primeros computadores se empleaban también válvulas más complejas, pero el principio seguía siendo el mismo. El transistor puede realizar las funciones de una válvula-diodo, permitiendo o no el paso de una señal eléctrica, y puede además amplificar la señal, haciéndola más fuerte. Esta característica de los transistores es muy importante. En otro tipo de componentes electrónicos las señales son siempre más débiles a la salida que la señal recibida, de modo que para que una señal se mantenga a través de una serie de componentes la señal original ha de ser muy potente o ser potenciada durante su trayecto. En cambio, con los transistores una señal débil puede perpetuarse y atravesar un gran número de componentes sin necesidad de ser mantenida por una corriente eléctrica adicional. El enorme consumo de energía que exigían las máquinas de válvulas de vacío se redujo drásticamente al construirse máquinas que utilizaban transistores. Además, éstos se comportan como interruptores casi perfectos y muy fáciles de controlar.

Los transistores son también elementos semiconductores (o de "estado sólido"), lo que quiere decir que están compuestos por materiales que pueden ser combinados en una sola unidad sólida para realizar determinadas funciones electrónicas. No contienen partes móviles; sus propiedades están determinadas por las características de los materiales que los componen. En comparación con las válvulas de vacío resultan menos susceptibles a las averías y al desgaste por el uso, y su tamaño es mucho menor. Hacia finales de la década de los años cincuenta las válvulas de vacío se habían quedado obsoletas y los nuevos computadores estaban basados ya

en la utilización de componentes semiconductores (o de "estado sólido"), principalmente transistores.

Durante la década de los años sesenta se dio un proceso de consolidación; la sofisticación se hizo mayor en términos de un perfeccionamiento de la capacidad, velocidad y potencial de los grandes computadores. En 1964 tuvo lugar la instalación del computador Chilton Atlas en el Rutherford Laboratory de Oxfordshire. Con un coste de un millón de libras esterlinas, el Atlas se convirtió —al menos en Inglaterra— en el prototipo o patrón con el que eran comparados los demás computadores. Estaba instalado en un edificio de dos pisos; la unidad central en el piso inferior y los dispositivos de entrada y salida en el superior. El Atlas era un computador rápido, flexible y potente, pero era excesivamente grande, caro y bastante inaccesible.

Los transistores habían causado gran impacto, debido no sólo a lo práctico de su diseño, sino también a la característica de ser tan compactos. Durante los años sesenta fue progresando la tendencia hacia la miniaturización y al final de la década se comenzaron a emplear los primeros microcomponentes: los primeros *chips* de silicio. Qué son estos chips (en castellano se les denomina también "pulga" o "pastilla") es una cuestión que discutiremos más adelante, pero su impacto sobre la tecnología informática fue enorme. La idea en la que se basa el chip es la de incluir varios componentes electrónicos semiconductores, transistores por ejemplo, en la misma pieza de material. De esta forma, los componentes podrían ser mucho más pequeños y su interconexión seria intrínseca, eliminándose cables de conexión, soldaduras, etc. Los sucesivos avances de la técnica en cuanto a incluir cada vez más componentes dentro de un mismo chip han llegado hasta tal punto que podría decirse que los computadores casi han desaparecido; quiero decir con esto que los grandes computadores como el Atlas están convirtiéndose en reliquias del pasado, y sus equivalentes pueden hoy día construirse dentro de una unidad del tamaño de una caja de cerillas. Cada vez más, los computadores están pasando a formar parte de otros aparatos, en lugar de ser máquinas independientes. La miniaturización de la tecnología ha transformado radical y rápida-

mente el mundo de la informática. Los computadores que basan su funcionamiento en los chips se han hecho posibles no gracias a un cambio conceptual —la idea básica del computador sigue siendo la misma—, sino debido a los rápidos avances de la tecnología en el diseño y fabricación de chips a partir de materiales semiconductores como el silicio.

Los metales como el oro o el cobre conducen la electricidad debido a que parte de sus electrones (partículas cargadas de electricidad negativa constituyentes del átomo) están unidos tan débilmente a los átomos que pueden circular fácilmente a través del metal sólido y, por tanto, la corriente eléctrica es transmitida eficazmente. Los materiales aislantes, como el carbono (p. ej. en forma de madera) o el azufre, tienen los electrones fuertemente unidos al núcleo de sus átomos, de manera que ninguno queda libre para desplazarse y conducir la electricidad. Los materiales semiconductores, como por ejemplo el silicio (que es el principal componente de la arena) y el germanio, se encuentran en cierto modo entre estos dos extremos. Los semiconductores no conducen la electricidad, porque sus electrones están unidos a los átomos que componen la materia. Sin embargo, algunos electrones están unidos al núcleo de forma muy débil, y con un pequeño "empujón" pueden separarse de él y desplazarse a través del cristal, conduciendo por tanto la electricidad. Los semiconductores conducen la electricidad cuando son inducidos a ello, por ejemplo, aplicando una corriente de bajo voltaje —de la magnitud necesaria para un componente, por ejemplo para un transistor— al material. De esta manera, los componentes hechos de una materia semiconductora pueden ser utilizados como interruptores, puesto que conducirán o no la electricidad, dependiendo de cómo se manipule el circuito. Si se ha aplicado un voltaje la corriente fluirá, y si no, la corriente se interrumpirá.

Materiales como el silicio pueden aumentar sus propiedades semiconductoras mediante "estimulación" con impurezas atómicas. Si el silicio contiene una pequeña cantidad de un elemento, como el fósforo, que posee un electrón más en su estructura atómica, cada electrón aportado por cada átomo de impureza podrá mo-

verse libremente, acentuando las propiedades semiconductoras de este silicio impuro. Como cada electrón extra tiene una carga negativa, este silicio impuro es denominado de "tipo *n*" (negativo). Si el silicio es "estimulado" con un elemento como el boro, que tiene un electrón menos, la materia se comporta como si se le hubiera quitado un electrón, o se le hubiera dado una carga positiva. Esta carga positiva, causada por la ausencia de una carga negativa, se denomina "agujero". Los "agujeros" positivos actúan en un semiconductor con tanta efectividad como una carga eléctrica "real". Esta forma de silicio impuro se denomina como "tipo *p*".

La combinación de silicio de "tipo n" con silicio de "tipo p" da lugar en la zona de contacto a interesantes propiedades eléctricas que hacen posible la construcción de dispositivos semiconductores, como los diodos o los transistores. En su forma más simple, sería una pieza de silicio de "tipo *p*" unida a otra de "tipo *n*"; esto sería ya un diodo. La corriente podrá fluir del material *p* hacia el *n*, pero no en el sentido contrario. Un transistor es, en principio, una pieza de silicio p "emparedada" entre dos secciones de silicio n.

Estos dispositivos semiconductores funcionan por el movimiento de los electrones —o agujeros positivos— bajo la influencia de impulsos eléctricos externos. Son sólidos: no tienen partes móviles, a excepción de las cargas eléctricas, y, como funcionan a nivel atómico, pueden hacerse de un tamaño muy pequeño. Además, estos dispositivos son altamente fiables, puesto que esencialmente no hay nada que pueda funcionar mal, a menos que sufran graves daños, por ejemplo a causa de un exceso de calor o de una descarga eléctrica demasiado fuerte. Cuando estos dispositivos de estado sólido se construyeron y reemplazaron las embarazosas válvulas de vacío, se produjo una tendencia progresiva a disminuir cada vez más el tamaño de los componentes. Los transistores, diodos, etc., habían sido originalmente componentes discretos, cada uno con sus cables de conexión que sobresalían de su envoltura plástica para ser conectados a los demás componentes del circuito. Junto a la tendencia a una progresiva miniaturización vino la idea de construir una unidad que incluyera varios componentes

semiconductores, eliminando así las conexiones con cables. Ésta fue la idea que marcó los comienzos de la tecnología del chip.

Como los transistores están hechos con dos tipos de silicio "estimulado" o enriquecido y los diodos pueden fabricarse también con silicio, surgió la idea de que, en vez de construirse componentes individuales, los transistores y los diodos podían fabricarse juntos en una misma pieza de material de silicio. Enriqueciendo diferentes partes de un mismo sustrato de silicio, o aplicando capas finas de diferentes sustancias sobre la superficie de una lámina de silicio, podrían insertarse los componentes adecuados en una única base. Aunque la idea no era complicada, para lograrlo la tecnología aún tendría que perfeccionarse. La figura 5 muestra el tipo de disposición que se consideró. Las diferentes partes podían estar conectadas por capas de aluminio conductor aplicadas a la lámina de silicio, de forma que se establecieran las conexiones necesarias para completar un determinado circuito. Debido al pequeño tamaño de las plaquetas de silicio utilizadas, enseguida empezó a denominárselas *chips*[5].

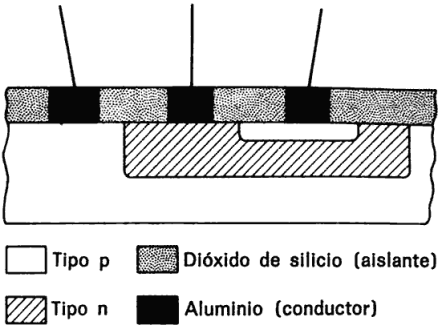


Fig. 5. Diagrama de la sección transversal de una microplaqueta de silicio en la que se han insertado una capa de silicio tipo *n*. otra de dióxido de silicio, como aislante, y varios conectores de aluminio.

Parte de la tecnología necesaria para la fabricación de microcomponentes electrónicos dentro de un chip está relacionada con el

[5] *Chip:* en inglés significa astilla, brizna, pedacito, trocito. *(N. del T.)*

proceso de evaporar finas capas de sustancias sobre la superficie del sustrato. Estas capas pueden ser de materiales aislantes —como dióxido de silicio— o de conductores metálicos.

La técnica de capa fina estaba ya bastante desarrollada para llevar a la práctica esta posibilidad y permitir a los diseñadores de circuitos integrados en chips incorporar componentes tan comunes como resistencias y condensadores. Una resistencia ordinaria se compone básicamente de un material mal conductor que se resiste al paso de la corriente a través de él. Este tipo de componente puede ser incorporado a un chip incrustando una fina cuña de un tipo de silicio en un sustrato de silicio del tipo opuesto. Un condensador generalmente tiene la función de almacenar electricidad entre dos placas de material conductor. El "microequivalente" de un condensador convencional podría tomar la forma de una capa de metal conductor aplicada sobre una capa de material aislante superpuesta a la base de silicio. Incrustando diferentes tipos de silicio impuro en una base de silicio y aplicando sucesivas capas superficiales, es posible ensamblar toda una gama de componentes —incluidas sus interconexiones— en una pequeña unidad de estado sólido (o semiconductor).

El proceso de combinar varios componentes en un único chip o "pastilla" de silicio se ha denominado *integración;* los primeros circuitos integrados en chips fueron fabricados a mediados de la década de los años sesenta. A partir de entonces, como veremos más adelante, se han ido comprimiendo cada vez más componentes en un chip, cuya superficie mide aproximadamente 1,5 cm^2. Para conseguirlo se emplean técnicas de grabado fotográfico y técnicas de capa fina, que han precisado un considerable perfeccionamiento y sofisticación, aunque, en principio, siguen siendo técnicas simples. Otra exigencia técnica era la necesidad de disponer de cristales de silicio muy puros.

Los circuitos integrados en una pastilla de silicio o chip se fabrican de la siguiente manera:

Primero se diseña el circuito; y este diseño ha de ser tridimensional. Puesto que los componentes se construyen en capas, cada capa ha de ser cuidadosamente dibujada, considerando también las

interrelaciones entre los diferentes niveles de la pastilla. El circuito diseñado se dibuja después a gran escala con toda exactitud, representando en diferentes dibujos las zonas en donde hay que aplicar o quitar una capa de silicio o de otro material de cada nivel. Los dibujos son entonces reducidos por procedimientos fotográficos hasta convertirse en diminutas máscaras fotográficas.

Mientras se realiza este proceso de diseño, se fabrica también un gran cristal de silicio puro. Normalmente, este cristal tiene forma cilíndrica y suele medir entre 30 y 60 cm, aproximadamente. El cristal se corta en finas "rebanadas", para obtener plaquetas de forma circular, cada una de las cuales puede llegar a contener varios cientos de chips. Estas plaquetas se recubren con una capa de dióxido de silicio y después con una emulsión fotográfica especial, denominada emulsión fotorresistente. Entonces las máscaras obtenidas por reducción fotográfica se superponen a las plaquetas. Las placas así preparadas con la máscara se exponen a una luz que impresiona las partes de la emulsión fotorresistente a las que tiene acceso. En realidad, el proceso es muy semejante al proceso fotográfico normal. La exposición a la luz altera las propiedades químicas de la emulsión, de forma que cuando la plaqueta es posteriormente sumergida en un baño de un producto químico adecuado, las partes expuestas se conservan, mientras que las que no han sido expuestas a la luz se disuelven por el lavado. Después se introduce la plaqueta en una solución ácida, la cual elimina el dióxido de silicio que ha quedado expuesto al disolverse la emulsión fotorresistente. Así pues, en estas zonas el silicio queda expuesto, de modo que se pueden incrustar impurezas o aplicar capas de material conductor o de otro tipo. Otro baño químico eliminará después el resto de la emulsión fotorresistente, con lo que se habrá completado una capa del chip. Repitiendo este proceso con las diferentes capas, pueden construirse complejos circuitos con sus componentes integrados en la misma plaqueta.

Finalmente, y puesto que los circuitos construidos sobre el silicio habrán sido múltiples, la plaqueta se dividirá en chips individuales. Cada uno de estos chips será comprobado electrónicamente para ver si funciona, tras lo cual se montarán en un envase de plás-

tico, listos para ser utilizados. Incluso los más pequeños defectos —prácticamente a nivel atómico— pueden malograr un chip, pero, al producirse tantos en una sola plaqueta, el porcentaje de piezas desechadas no resulta muy importante. De hecho, los avances técnicos en la producción de chips han logrado en los últimos años que el rendimiento de cada plaqueta sea muy alto.

Los primeros chips contenían tan sólo unos cuantos componentes y servían para reemplazar ciertas partes de los circuitos electrónicos. Hacia finales de la década de los sesenta los chips contenían ya varios centenares de componentes; los avances técnicos que hicieron posible esto dieron lugar a que se hablara de la *integración a gran escala.* Con la integración de cientos, o incluso miles, de componentes en un chip, toda la unidad central de proceso podía estar contenida en una sola pastilla de silicio, dando lugar a lo que se denominaría *microprocesador. Se* fabricaron chips que contenían series de transistores y que podían ser utilizados para almacenar datos o programas, actuando, por tanto, como memorias. Estas memorias podían ser de dos tipos: ROM y RAM. Los chips de memoria ROM *(Read Only Memory* = memoria de lectura únicamente, o memoria muerta) llevan almacenados permanentemente instrucciones o datos; por ejemplo, pueden contener el intérprete de un lenguaje de alto nivel, como el BASIC. Este tipo de memoria sólo permite la lectura de la información, pero no admite modificaciones ni nueva información. La memoria es de carácter permanente. En cambio, la RAM *(Random Access Memory* = memoria de acceso aleatorio) permite tanto la lectura como la escritura en las diferentes posiciones de almacenaje; acceso aleatorio quiere decir que el computador puede dirigirse con igual facilidad en una dirección de su memoria que en otra, puesto que la memoria no tiene que ser leída de modo secuencial. La memoria de escritura solamente *(Write Only Memory)* no ha podido ser desarrollada con éxito hasta el presente.

Hacia mediados de la década de los años setenta fue posible construir un pequeño computador utilizando tan sólo unos pocos chips: uno para el procesador central, que incluye la unidad aritmético-lógica; un segundo chip para interpretar las señales proceden-

tes del teclado de entrada; y quizá otro para conectar con el monitor de TV, que sería la unidad de salida. Unos cuantos chips más podían constituir la memoria; todo el sistema podría ser montado dentro de una caja que no ocuparía mucho más que una máquina de escribir convencional. Una máquina de este tipo podía tener una capacidad de procesamiento equivalente a una fracción considerable de la capacidad del Chilton Atlas, y por una milésima de su precio. Los nuevos microcomputadores ya eran rápidos, baratos y fácilmente accesibles.

La integración a gran escala (LSI) dio paso a lo que se ha denominado *Very Large Scale Integration* (VLSI), o integración a muy gran escala. El año 1975 vio el nacimiento del chip de 64K: un solo pedacito de silicio con capacidad para almacenar más de 64.000 bits de memoria o un número equivalente de componentes para constituir un potente procesador central y su unidad aritmético-lógica. Tal avance dio lugar al eslogan de «el Chilton Atlas de bolsillo»; pero el progreso continuaba. Antes del final de la década de los setenta ya se había fabricado el chip de un millón de bits. En el momento de escribir estas líneas ya ha sido anunciada la producción de chips en los que se han comprimido cuatro millones de componentes. La figura 6 ilustra este drástico cambio que ha sido posible gracias a los avances técnicos.

La posibilidad de integrar aún más componentes en una pastilla de silicio no tiene tanto que ver con el espacio físico disponible del chip, como con la habilidad de reducir todavía más los diseños realizados por procesos fotográficos. El próximo avance tecnológico sería prescindir de la técnica fotográfica para operar sobre el chip con un rayo de electrones. Esta técnica, que permite manipular la superficie de las plaquetas con mucho más detalle, haría posible aumentar de cien a mil veces el número de componentes que pueden integrarse en un chip. El rayo de electrones sería guiado bajo el control de un computador, y el diseño del chip estaría programado en el computador. Así pues, el desarrollo de los computadores contribuye a perfeccionar su propio diseño y fabricación, acelerando aún más su progreso. Este tipo de avances están

siendo investigados en la actualidad, y en los próximos años la capacidad del chip continuará aumentando.

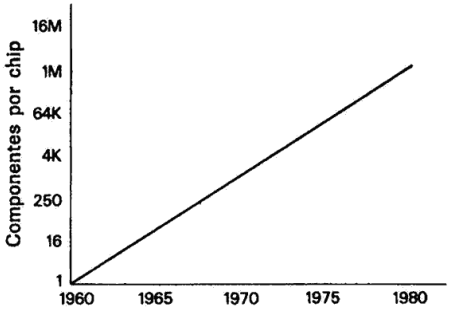


Fig. 6. Gráfico que muestra el aumento del número de componentes que pueden ser integrados en un chip, desde 1960 hasta 1980.

Paralelamente a la integración a muy gran escala (VLSI), se están logrando otros avances en la producción de los chips de memoria. Se están introduciendo nuevos dispositivos, basados en componentes distintos a los transistores (los dispositivos de acoplamiento de cargas, las burbujas magnéticas), que no sólo contribuirán a aumentar la capacidad de la memoria, sino que también reducirán el tiempo de acceso a una particular dirección de almacenamiento. No tendría sentido fabricar computadores mayores si esto supusiera que su funcionamiento se haría más lento. Naturalmente, la miniaturización significa normalmente mayor rapidez, pues las señales tienen que recorrer menos distancia. La nueva generación de dispositivos de memoria es intrínsecamente más rápida, y se están investigando formas todavía más rápidas de funcionamiento del computador. En última instancia, el límite de velocidad para la transmisión de información dentro de un computador podría ser la velocidad de la luz.

El desarrollo del chip ha transformado la informática, aunque también ha tenido un impacto sin precedentes —en particular en tan breve período de tiempo— sobre la sociedad y la experiencia humana. En diez años la microrrevolución ha originado un proceso de transformación cuyo poder y alcance aún no somos capaces de apreciar; sus implicaciones constituyen el tema del presente libro.

La figura 6 es uno de los dos gráficos que ilustran, de modo simple y directo, la fuerza de esta revolución. El crecimiento del potencial de la tecnología del chip puede apreciarse en términos del número de componentes comprimidos en un solo chip de silicio.

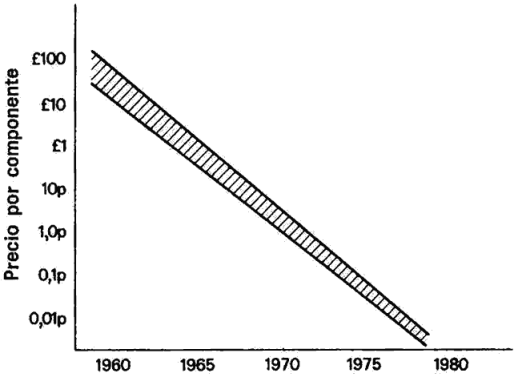


Fig. 7. Gráfico que muestra la disminución del coste (en libras y peniques) de los componentes microelectrónicos a partir de 1960.

La figura 7 complementa el diagrama y muestra la drástica caída del coste de los componentes integrados en el silicio. La combinación de una progresiva miniaturización y del descenso de los costes ha conducido a un gran desarrollo de las aplicaciones del computador. Además, el descenso de los costes no se limita únicamente a los chips; con la expansión del mercado y con la amortización del capital invertido, todos los componentes físicos *(hardware)* se han ido haciendo cada vez más baratos. Los costes descienden a todos los niveles tecnológicos. Las calculadoras de bolsillo, los relojes digitales e incluso los grandes computadores experimentan una reducción efectiva de sus costes, o por una disminución directa del coste o por una mejora notable del producto. En algunos casos se dan ambos factores. El popular computador doméstico Sinclair ZX80 fue reemplazado por el ZX81 en sólo un año; este último modelo ha sido notablemente perfeccionado, y su coste es un 30% inferior al del primero. Casos parecidos se dan con todo tipo de aparatos, monitores de TV, impresoras y otros accesorios; sin embargo, es en el campo de la multiplicación de

aplicaciones en donde la efectividad de los costes de los microprocesadores basados en los chips ha tenido una mayor repercusión, haciendo que se tome conciencia pública de la revolución que ya está entre nosotros. El campo de aplicaciones del computador será el tema del siguiente capítulo, pero antes de entrar en este tema tenemos que considerar otro aspecto técnico: el modo en el que un microprocesador puede vincularse con el mundo exterior.

Los computadores son máquinas digitales. Funcionan procesando información digital y se "comunican" por medio de señales en forma de dígitos binarios. La información digital no es más que información expresada en números, en una forma puramente cuantitativa. En el mundo que nos rodea, la mayor parte de la información se expresa en forma analógica. La información analógica es información expresada como analogía física de la magnitud original. Por ejemplo, la temperatura se expresa normalmente de forma analógica por la altura de una columna de mercurio en un tubo de cristal. Cuando se lee un termómetro, lo que se hace es observar cuánto se ha dilatado o contraído el líquido del tubo y expresamos la altura señalada como si "fuera" la temperatura. En realidad, al leer un termómetro estamos efectuando el proceso mental de convertir el análogo físico de la temperatura en tantos grados; o sea, en una forma digital. Cualquier cantidad física que cambie con la temperatura puede ser utilizada como termómetro; así, las propiedades eléctricas de ciertos conductores pueden ser utilizadas como análogas de la temperatura. Los análogos eléctricos pueden convertirse fácilmente en formas digitales mediante un pequeño circuito electrónico apropiado (conversor analógico-digital); de este modo la temperatura puede ser expresada en una unidad de representación digital, que hará aparecer, por ejemplo, un número como 21,4°C. Este tipo de representación puede ser leída directamente, eliminando así el proceso que exige el sistema de formas analógicas.

El tiempo ha sido expresado tradicionalmente en formas analógicas mediante la caída de arena en el reloj de arena, o por medio de un indicador impulsado por un péndulo, cuya relación angular en la esfera del reloj nos indica la hora. Los relojes digitales han

invadido recientemente el mercado y mucha gente lee ahora el tiempo directamente en números. Cualquier señal que pueda ser convertida en una forma eléctrica puede ser transformada, mediante un conversor analógico-digital, en una forma digital. A la inversa, la información digital, a través de un conversor digital-analógico, puede expresarse en una forma analógica, por ejemplo, por un indicador en una esfera, por la potencia de un voltaje eléctrico o por el movimiento de una rueda dentada o engranaje.

En relación con los computadores, estos procesos de conversión son normalmente necesarios en los canales de entrada y salida. La señal eléctrica generada al pulsar una de las teclas del teclado ha de ser transformada en una señal binaria en forma, por ejemplo, de una secuencia de ocho impulsos (o su ausencia). Si la forma binaria de la señal que corresponde a la letra W es 00010111, la secuencia de impulsos puede representarse de la siguiente manera:

Dentro del computador esta señal será transmitida y procesada del modo que hemos comentado anteriormente, pero cuando la letra W tenga que ser impresa en la pantalla del monitor de TV o en un listado, la señal tendrá que volver a ser convertida en una forma que resulte en su análoga, apareciendo como una determinada combinación de luz (o tinta) en la pantalla (o papel) en forma de W. Los circuitos que transforman la información del mundo exterior en dígitos binarios, o sea, los que permiten la comunicación entre la caja misteriosa del computador y su entorno, se designan en inglés con la palabra *interface*[6]. En cuanto a sus aplicaciones, la potencia y flexibilidad de los computadores depende en parte del ingenio humano para convertir *cualquier tipo* de infor-

[6] *Interface:* intermediarios naturales (o conexión) entre el computador y sus periféricos. En general se utiliza el término inglés, también existe una versión castellanizada: *interfaz. interfaces (N. del T.)*

mación en impulsos eléctricos —dando lugar a un código binario—, y en parte de la capacidad del computador de procesar información.

Un reloj de pulsera analógico y un reloj digital tienen en común que ambos muestran en su superficie información sobre la hora. Realizan este cometido convirtiendo las oscilaciones periódicas de una rueda de escape, o de un cristal de cuarzo, en una representación visual que va cambiando, pero la diferencia principal entre los dos es que el reloj digital es capaz de procesar la información y de almacenarla. El reloj digital es un computador simple cuyo funcionamiento se basa en un chip de silicio. Sus entradas las recibe en forma de impulsos eléctricos regulares emitidos por un cristal de cuarzo que oscila impulsado por una batería; su salida sería el marcador de su esfera. Mientras que el reloj convencional transforma mecánicamente las oscilaciones en el movimiento de sus agujas, el reloj digital procesa información. Además de indicar la hora, el reloj digital puede almacenar el transcurso del tiempo en una localización de su memoria; y de hecho ésta es una de sus funciones fundamentales, enviando a cada segundo una información del tiempo que pasa desde la memoria al indicador. Por lo general, este tipo de relojes puede indicar también la fecha, que es enviada desde otra localización de la memoria al accionar un dispositivo. La fecha es rectificada diariamente, según una serie de instrucciones que han sido registradas en otro lugar de la memoria, y que deberían incluir información sobre la duración de los meses e incluso sobre cuando hay un año bisiesto. Las mismas señales que constituyen la entrada de un reloj digital pueden ser transformadas para que el reloj pueda funcionar como cronómetro, o para que pueda almacenar la hora de otras partes del mundo. Puede también almacenar una hora determinada, de manera que se genere un sonido de alarma, etc. Todas estas funciones pueden obtenerse a partir de la misma información que proporciona un reloj convencional. La capacidad para realizar todas estas funciones proviene simplemente de la habilidad del computador de procesar información.

Hay otro aspecto del *interface* (o conexión) de los computadores con el mundo exterior que debemos considerar, debido a que está adquiriendo cada vez más importancia: la telecomunicación de la información o telemática. La tecnología de los medios de comunicación, basada en gran parte en el chip, está desarrollándose y avanzando tan rápidamente como los microprocesadores. De hecho, estos dos campos son dos aspectos de la microtecnología y, por tanto, son mutuamente dependientes.

Los computadores procesan la información muy rápidamente, y la transmisión interna de datos se desarrolla a grandes velocidades. Incluso las máquinas más pequeñas pueden procesar diez millones de bits por segundo; los medios de comunicación convencionales son todavía mucho más lentos. Una máquina de escribir puede funcionar sólo a una velocidad de unos cuantos bits por segundo; una línea telefónica transmite información a una velocidad aproximada de sólo mil bits por segundo. Estas conexiones resultan demasiado lentas, en especial cuando los computadores se hallan conectados entre sí formando una red de intercambio de información. En los últimos años se ha difundido el empleo de cables especialmente diseñados para sistemas de comunicación —los mismos que se utilizan para transmitir programas de televisión— capaces de transmitir un millón de bits por segundo o más. Las fibras ópticas (fibras muy finas de vidrio o de un material similar) pueden transmitir mil millones de bits en un segundo, y ya se están desarrollando técnicamente para su empleo en las redes de comunicación. En Estados Unidos especialmente, aunque también en otras partes del mundo, se emplean cada vez más los satélites artificiales para la transmisión de información, con capacidades de diez o más millones de bits por segundo; así pues, la tecnología de la transmisión de datos está alcanzando ya las velocidades desarrolladas por las máquinas informáticas. La posibilidad de interconectar computadores de este modo está ampliando enormemente su potencia y el campo de sus aplicaciones. La conexión de computadores entre sí para procesar información y su vinculación a toda una gama de dispositivos tanto analógicos como digitales, ha ori-

ginado una gran difusión de las aplicaciones de la informática, dando lugar a lo que se ha llamado la invasión del chip.

4. La transformación de las tecnologías

Cuando la tecnología es aplicada mediante un procesador basado en el chip (o microprocesador), toda su naturaleza queda transformada; tal es el poder de la revolución de la microelectrónica. La miniaturización del *hardware* ha hecho posible que el poder de la informática se haya introducido prácticamente en todas las demás tecnologías; un poder que, aunque queda oculto a la vista, ha transformado subrepticiamente la misma naturaleza de las máquinas bajo su control. La disminución del coste del chip ha significado la posibilidad de aplicar los sistemas de control por computador tanto a los fines más sofisticados como a los más triviales, y el crecimiento de las redes de comunicación ha difundido este tipo de control no sólo dentro de un país determinado, sino también a nivel mundial. La invasión del chip se ha producido en forma de infiltración, y sólo ahora, cuando ya empiezan de dejarse sentir sus efectos, tomamos conciencia de que el chip se encuentra entre nosotros y a nuestro alrededor.

Existen tantas aplicaciones posibles para la tecnología del chip que resultaría prolijo enumerarlas todas. Sin embargo, en este capítulo consideraremos cinco campos en los que la microelectrónica ha tenido un gran impacto, de cada uno de los cuales escogeremos ejemplos para ilustrar el modo en que los microprocesadores han alterado otras tecnologías. Ya hemos visto la transformación que experimenta un reloj cuando su fuente de oscilaciones se transforma en la entrada de un microprocesador y su esfera en una unidad de salida. ¡El reloj no es ya un reloj, sino que se ha convertido en un procesador de tiempo! El mismo tipo de transformación puede observarse en todos los aspectos del *control por máquinas*, que será el campo de aplicación que consideraremos en primer lugar.

Imaginemos una máquina-herramienta que consista en una cuchilla para recortar piezas de metal, un sistema de sujeción y una

serie de mandos de control que permitan al operario manipular las piezas y la cuchilla. El operario efectuará una serie de operaciones para llevar la cuchilla al sitio adecuado de la pieza y para darle la orientación apropiada, aplicando la cuchilla de corte hasta que cierta parte del trabajo haya sido realizada; entonces puede reorientar la pieza o incluso cambiar la cuchilla para continuar el trabajo. Aparte de la habilidad manual que exija esta tarea, el operario tendrá que juzgar hasta qué punto el trabajo está siendo correctamente realizado, ver si fluye suficiente lubricante y refrigerante, etc. El proceso puede ser realizado automáticamente —por ejemplo, en una cadena de producción— con una máquina de control mecánico capaz de cortar o taladrar las piezas que se le coloquen delante. La sustitución del hombre por una máquina en una fábrica o taller puede liberar al operario de una labor repetitiva y proporcionar un producto uniforme, pero la instalación de un sistema de este tipo es cara y resulta poco flexible. Además, la cuchilla seguirá realizando su tarea tanto si tiene una pieza delante como si no, sin pararse a considerar si la pieza es defectuosa. Las máquinas realizan ciegamente su trabajo automático.

Cuando la máquina automática es conectada a un procesador, queda transformada. No se puede considerar como máquina automática, ni tampoco como herramienta manual. Para el empresario este tipo de máquina posee todas las "ventajas" de un operario humano (flexibilidad, "juicio", capacidad de control, etc.) sin ninguno de sus inconvenientes (aburrimiento, inexactitud, cansancio, hambre, huelgas...). El procesador toma el control y transforma la máquina. Sus entradas son sus instrucciones, el programa para el trabajo que ha de realizar y los sensores de que dispone para poder juzgar la posición (microinterruptores), la temperatura (termopares), el flujo del lubricante, etc. Sus salidas son los movimientos de la cuchilla (o cuchillas, puesto que la máquina puede estar provista de múltiples cabezales para taladrar, esmerilar, cortar, etc., quizá incluso simultáneamente) y las señales que emite para indicar al operario, o a otras máquinas, el progreso de su tarea.

La máquina-herramienta automatizada se convierte en un sistema en sí. Se puede cambiar su tarea simplemente cambiando el

programa. Puede controlar el proceso de trabajo mientras lo realiza, deteniéndose si la pieza resulta defectuosa. Es capaz de efectuar varias operaciones al mismo tiempo, haciéndose mucho más eficiente que un operario, y puede además autocontrolarse y controlar los suministros mientras desarrolla su tarea. Conectada a otras máquinas y a otras secciones, puede pedir por sí misma más lubricante o refrigerante cuando el nivel haya descendido, o informar a los diferentes departamentos de la fábrica (gerencia, contabilidad, almacén o mantenimiento) sobre cómo se está desarrollando el proceso de producción. La máquina automática provista de un chip pertenece a una categoría de máquina diferente; se ha transformado en un procesador de metal.

Con este tipo de máquinas la fabricación en sí ha pasado, de ser una serie de procesos que implican principalmente la producción de objetos concretos, a convertirse en un sistema de flujo de información en donde la importancia del producto pasa a un segundo plano. Lo importante en la fábrica automatizada es el flujo de información que entra y sale de las máquinas, que, en sí, no son más que un eslabón en el desarrollo de los negocios de la empresa. Un sistema de máquinas controladas por chips y conectadas a un pequeño computador central puede hacer funcionar una fábrica, necesitando únicamente una supervisión y un servicio de mantenimiento; las máquinas podrían incluso revisarse y autodiagnosticarse, de manera que la presencia del técnico sólo sería necesaria para reemplazar los componentes averiados por otros nuevos. Las máquinas que realizan el proceso de fabricación pueden facilitar información directamente a la dirección, y pueden ser conectadas a un computador mayor que se ocupe de analizar la planificación del negocio y de desarrollar nuevos proyectos y alternativas sobre los que la dirección pueda basar sus decisiones. La máquina-herramienta como sistema, o sea, como máquina capaz de "pensar", se convierte en parte de otro sistema aún mayor en el que el proceso industrial en su totalidad es controlado por computador. No importa si el sistema es una industria de productos químicos, unos altos hornos o una fábrica de bolígrafos; cuando las máquinas pasan a estar controladas por un microprocesador, no se transfor-

man sólo las máquinas sino también el proceso del que forman parte.

Las industrias de alta tecnología, como las fábricas de aparatos electrónicos, están ya semiautomatizadas; la industria pesada está comenzando el proceso de automatización, como ocurre, por ejemplo, con la fábrica de coches Fiat de Italia. La automatización, ya desde mucho antes de que hubiera comenzado una auténtica automatización, se ha convertido en un tema apasionante. A partir de la década de los años treinta, los peligros y las ventajas del control ejercido por máquinas han sido objeto de preocupación y polémica, a pesar de que la automatización propiamente dicha surge a partir de los años cincuenta. En capítulos posteriores consideraremos el impacto social y humano de este proceso; ahora volveremos sobre el tema del efecto transformador del chip sobre las demás tecnologías.

La idea del control por máquinas puede extenderse desde el proceso industrial a cualquier otro aspecto de la tecnología. La combinación de la capacidad de procesar información con una serie de sensores apropiados (p. ej., termómetros, manómetros, medidores de flujo, etc.) haría posible que las máquinas se autocontrolasen para obtener un funcionamiento óptimo y efectuasen sus propios diagnósticos de mantenimiento. Un coche provisto de un chip puede regular su propio consumo de carburante ajustando su sistema de inyección a las condiciones en que es conducido. Mostrando en un indicador instantáneo el consumo de combustible, el coche puede "aconsejar" a su conductor que conduzca de manera más ahorrativa. También podría controlar el estado de los frenos y del fluido hidráulico, y "vigilar" el consumo de aceite y el funcionamiento del sistema eléctrico, "sugiriendo" a su dueño cuándo el coche necesita una revisión y qué partes son las que habría que comprobar. El coche puede ser profundamente transformado mediante el chip, pudiendo proporcionar al conductor una amplia gama de información y consejos. Todavía habrá que conducir el coche desde el punto A hasta el punto B, pero con el desarrollo de un adecuado sistema de sensores de distancias el coche podría activar los frenos por sí mismo si es conducido a una velo-

cidad excesiva o a una distancia imprudente de otros objetos. Mediante la incorporación de un sistema de comunicación, el coche podría incluso "hablar" con el taller solicitando fecha para un servicio o una revisión en ruta, o renovar el impuesto de circulación o el seguro, limitándose simplemente a notificárselo a su propietario. Con la incorporación del chip el coche se convierte en una máquina de procesar información.

La informática surgió en principio a partir de sus aplicaciones militares y ha sido desarrollada para este tipo de propósitos más que para objetivos de tipo civil, que es lo que suele ocurrir con la mayoría de las tecnologías. El misil de crucero y otras armas controladas por microprocesadores son transformaciones de los métodos de matar "ortodoxos". El proyectil "inteligente" —como ha sido denominado este misil— no necesita ser dirigido al blanco, sino que es enviado a buscarlo. Puede ser programado con una lista de objetivos con prioridades en cuanto a su destrucción; cuando el proyectil es disparado, lleva integrados en sí una serie de mapas del territorio que tendrá que sobrevolar. Vuela a ras de tierra, percibiendo su posición y su rumbo y detectando los obstáculos, como árboles o edificios, que debe sortear. Es capaz de detectar proyectiles antimisil y maniobrar para evitarlos, firmemente "determinado" a alcanzar el blanco óptimo de su lista, dependiendo de lo que se encuentre en el camino. Los computadores fueron diseñados inicialmente para ayudar a dirigir los proyectiles de las armas de artillería hacia su blanco; y han sido desarrollados hasta tal punto que actualmente un misil puede contener docenas de microprocesadores que le permiten dirigir su fuerza destructiva hacia un blanco de su elección.

Y lo que es más: si el misil está dotado de una cámara de televisión adecuada, puede también procesar información visual. Una vez ha descubierto su blanco, un tanque o un barco, por ejemplo, puede dar un rodeo sobre su presa "buscando" el punto más débil del objetivo y detectarlo según las instrucciones de su programa. Ya no se dispara al azar; ahora las balas acechan a sus víctimas, calculando el mejor modo de matarlas. El misil puede estar vinculado a uno o varios satélites espías, cuyos ojos electrónicos envían

desde las capas más altas de la atmósfera una serie de señales-impulsos a los grandes computadores, que se encargan de interpretar lo que el satélite está "viendo", detectando la posición de tropas o vehículos por el calor que emiten, aunque permanezcan ocultos a la vista. El satélite vigila como un halcón; el misil ataca.

El control por computador de las máquinas de guerra tiene su extensión lógica en el campo de batalla electrónico, introducido por primera vez por las fuerzas de Estados Unidos en Vietnam. La vigilancia electrónica de un territorio se lleva a cabo por medio de satélites y de sensores ocultos a ras de suelo, capaces de distinguir entre los movimientos de un vehículo y el caminar de una persona. Las armas —posiblemente dispuestas y enclavadas previamente en el terreno— pueden ser activadas por los detectores electrónicos, que escogerán, mediante sus puertas lógicas, qué armas utilizarán y contra qué blancos dispararán. Los computadores encargados de la vigilancia del territorio podrán dirigir los misiles hacia sus blancos y guiar a los helicópteros cañoneros hasta el lugar más estratégico para que dejen caer su lluvia de fuego sobre los enemigos que hayan penetrado en el territorio controlado electrónicamente. Además, y al igual que ocurre con las máquinas electrónicas de las fábricas, el armamento conectado a una red informática puede enviar información a un computador central, que será capaz de planear las estrategias a seguir basándose en lo que está ocurriendo exactamente en el campo de batalla; de este modo la logística puede ser orientada hacia las necesidades del momento. Así también en la guerra el éxito puede depender del flujo de información.

La investigación espacial y la exploración del espacio no están del todo desvinculadas de los intereses bélicos. En el proyecto Apollo para llegar a la Luna, así como en las posteriores naves espaciales enviadas a explorar otros planetas, se utilizaron cohetes del mismo tipo que los que se emplean para lanzar satélites militares, tanto en Estados Unidos como en la Unión Soviética. Estos proyectos dependen en gran parte de la miniaturización de los computadores y de la microelectrónica en general, y, pese a que sus objetivos son científicos, no parece probable que los gobiernos inviertan tales cantidades de dinero y trabajo en estos proyectos

sólo para tener la satisfacción de descubrir algo sobre la composición atmosférica de Júpiter.

Dejando aparte el tema del control por computador, pasemos a considerar el campo de la *ciencia* y la *investigación*, que es el segundo campo importante de aplicación de la microtecnología; dentro de él, la investigación espacial es el mejor ejemplo de la aplicación del chip y de los sistemas de comunicación basados en el chip. Desde las naves espaciales ya se han llegado a enviar fotografías de planetas lejanos transmitidas por el computador de la nave en forma de dígitos binarios (que el computador ha obtenido procesando las imágenes captadas por la cámara de televisión para convertirlas en una forma transmisible). En la Tierra estas señales vuelven a ser procesadas y, mediante técnicas informáticas, las imágenes en bruto son "perfeccionadas". Las técnicas gráficas de los computadores están suficientemente desarrolladas hoy en día como para permitir intensificar los colores, resaltar los límites y "aclarar" los detalles confusos de una imagen. De hecho, pueden producirse gráficos que simulan —en una pantalla bidimensional— objetos tridimensionales, elaborados a partir de una serie de instrucciones e informaciones acerca del contorno, forma, superficies, color y contrastes. Estos gráficos no permanecen estáticos: su animación se ha convertido en una práctica bastante corriente.

En la investigación científica pueden emplearse técnicas similares para construir modelos de estructuras moleculares complejas antes de intentar sintetizar un nuevo fármaco en el laboratorio. Los astrofísicos pueden manejar gráficamente galaxias enteras, o comprimir la evolución del Universo en unos cuantos segundos en la pantalla del terminal del computador. En física, química, ingeniería e incluso matemáticas, cualquier situación dinámica puede ser construida gráficamente por el computador. En la ingeniería y en la investigación, el diseño asistido por computador se considera en muchos casos como una necesidad, como un requisito imprescindible para el éxito de un trabajo.

Como calculadoras, los computadores se utilizan sobre todo en el campo de la ciencia y de la investigación tecnológica. Analizar la luz de una estrella o estudiar la estructura de un cristal exige una

enorme capacidad de cómputo, un gran número de cálculos; sin embargo, aunque la aplicación del chip ha tenido una mayor repercusión sobre la tecnología, también ha tenido un efecto transformador sobre ciertos aspectos de la ciencia. Al igual que las máquinas-herramienta, los instrumentos científicos han sido invadidos por el chip. Aparte de la gran proliferación de instrumentos con indicadores digitales —no muy diferentes a los de un reloj—, se han producido también otros tipos de transformaciones. El ejemplo que presento a continuación está relacionado con algo tan simple como un voltímetro.

Uno de mis colegas añadió un microprocesador a un voltímetro utilizado por un geólogo. Hasta entonces el geólogo salía al campo para efectuar sus estudios sobre el terreno —a veces en lugares remotos— y se dedicaba a perforar las rocas que le interesaban; entonces efectuaba la prueba del alambre fino para detectar los pequeños cambios eléctricos que se dan a diferentes profundidades de las rocas, y estas señales eran registradas por el voltímetro como simples diferencias de voltaje. Los datos obtenidos podían registrarse en forma de listas de cifras escritas a mano, aunque en este caso eran registradas por medio de un digitalizador con un sistema de perforación que permitía convertir los datos experimentales en los agujeros de una cinta de papel perforada. Las cintas que se obtenían en el trabajo de campo se llevaban a la universidad, en donde se introducían en un gran computador. Finalmente, el análisis de estos datos proporcionaba la información deseada. Algunas veces los datos contenían errores o resultaban insuficientes, y era necesario repetir el viaje y las pruebas sobre el terreno.

Un voltímetro con un chip incorporado era algo completamente diferente; ahora el geólogo podía realizar sus pruebas eléctricas en las rocas y los voltajes que se obtenían podían ser almacenados en el chip y ser procesados en el acto. El geólogo podía disponer inmediatamente de los resultados del trabajo experimental; y esto era debido simplemente a que su herramienta de trabajo había sido dotada de cierta capacidad para procesar datos. La eficacia y la utilidad del instrumento habían experimentado una profunda transformación.

Las aplicaciones de nuevos avances científicos también dependen de la tecnología del chip. Las pruebas espaciales se realizan mediante dispositivos que permiten la exploración de ambientes hostiles, en los que el hombre difícilmente podría aventurarse sin incurrir en graves riesgos y causar enormes gastos. Se pueden concebir nuevos instrumentos que no podrían funcionar sin las velocidades que proporcionan los computadores. Así, por ejemplo, los detectores de luz electrónicos que se utilizan en astronomía exigen "leer" miles de señales por segundo, e incluso miles de señales por milésima de segundo. Semejantes velocidades en la manipulación de la información resultaban inconcebibles antes de inventarse la tecnología basada en el silicio.

En medicina, como en todos los campos de investigación científica, el chip ha permitido la introducción de nuevo instrumental. Los instrumentos, con capacidad de procesar la información, utilizados en los experimentos de laboratorio no sólo proporcionan unos resultados más rápidos y a menudo más exactos, sino que son capaces de dirigir y controlar el experimento en su totalidad. Incluso pueden ser empleados para controlar el estado de varios pacientes, informando a la enfermera encargada o al personal médico de su evolución. También se están desarrollando sofisticados sistemas de diagnosis, pero de momento me limitaré a mencionar el tópico, sobre el que volveremos en capítulos posteriores.

En la aplicación práctica de la ciencia, en los laboratorios industriales, las máquinas basadas en microprocesadores se utilizan cada vez más en los trabajos de control de calidad y de prueba de los productos; pero este tipo de máquina no sólo es capaz de efectuar pruebas mientras se desarrolla el proceso de producción, sino también de ajustarlo cuando el producto no satisface las normas exigidas. De hecho, los chips se utilizan para dirigir su propia fabricación y para comprobar los nuevos chips según se van produciendo sobre las plaquetas de silicio. Constantemente se están desarrollando nuevos productos basados en el chip, de manera que la microtecnología no sólo está cambiando la naturaleza de la industria, sino también los mismos procesos industriales.

El tercer campo para la aplicación de la microtecnología y de los computadores es el del *tratamiento de la información*; este campo difiere de los dos primeros en que mientras que el control por máquinas y las aplicaciones científicas implican una transformación del *hardware* —es decir, de las máquinas y aparatos—, en el tratamiento de la información es precisamente esa entidad nebulosa que denominamos "información" lo que constituye el producto. Naturalmente, en todas las aplicaciones de los computadores se procesa información, ya que ésta es su función, y, por tanto, la distinción que he establecido entre cinco campos diferentes puede variar según se mire; sin embargo, en mi opinión, el tratamiento de la información es cualitativamente distinto del control por máquinas, al menos en términos de producto y actividad humana. Es en este campo donde los computadores han tenido siempre un mayor impacto, a través del cual se nos han hecho más familiares.

Voy a decir muy poco acerca de los grandes sistemas de información, tales como los sistemas para el pago de nóminas, para la recaudación de impuestos o para el registro de vehículos. Esta clase de tratamiento de la información es ya sobradamente conocida, y la mayoría de las grandes organizaciones, organismos estatales, bancos y compañías de seguros llevan sus ficheros de personal, sus nóminas, su información comercial, su contabilidad, etc., por computador. Estos sistemas se denominan sistemas de base de datos, puesto que consisten en un gran banco o base de datos, o información, que es manipulada en el computador de acuerdo con las necesidades del usuario. Los sistemas de base de datos pueden emplearse para llevar la contabilidad de una empresa o para realizar estadísticas estatales o comerciales. Aunque en los últimos años estos sistemas han sido perfeccionados gracias a los avances logrados tanto en *hardware* como en *software*, no han sido directamente afectados —al menos en principio— por la microtecnología, excepto en dos aspectos concretos. En primer lugar, el abaratamiento de los dispositivos de memoria ha hecho que los sistemas de información se hagan más asequibles, incluso para las pequeñas empresas; y en segundo lugar, la microtecnología —como ya hemos mencionado en otro contexto— ha permitido que se produzca

una gran expansión de las redes de comunicación locales e internacionales. Una consecuencia importante de esto es que, actualmente, los computadores pueden ser conectados con facilidad a otros computadores, lo que significa que los sistemas de bases de datos pueden, al menos en teoría, extenderse a muchas máquinas y ser accesibles para los pequeños computadores mediante una conexión a la red de información, posiblemente mediante una línea telefónica. Estos avances no suponen sólo la extensión de la base de datos y la difusión de su empleo, sino también la posibilidad de combinar las bases de datos, o sea, de que el tratamiento de la información se realice dentro de una amplia red y no sólo a nivel local. Los sistemas de reserva de pasajes de las líneas internacionales son un claro ejemplo de esta clase de red; sería difícil imaginar cómo podrían organizarse de manera eficiente los vuelos internacionales sin un sistema basado en computadores conectados a una red de comunicación. La proliferación de los canales de comunicación basados en el chip y el hecho de que el "diálogo" entre computadores se convierta en algo corriente no sólo conducirá a una mayor flexibilidad de los sistemas de comunicación, sino que también originará una serie de problemas de los que hablaremos después.

El tratamiento de la información se asocia a menudo con la denominada revolución de la oficina, causada por la progresiva invasión de todo tipo de oficinas por maquinaria controlada por chips. El procesador de textos está sustituyendo a la máquina de escribir convencional y el sistema de archivos y, por tanto, a los mecanógrafos y administrativos. Un procesador de textos consiste en un teclado, una pantalla de televisión y un microprocesador, generalmente combinado con una o dos unidades de *diskettes* (discos flexibles) y con una impresora. Los textos se escriben mediante el teclado, aparecen en la pantalla y pueden ser almacenados en un disco. Una vez almacenado, el texto puede ser corregido para eliminar los errores, o alterado para destinarlo a diferentes usos, siendo impreso después. Un ejemplo típico sería un modelo de carta de invitación para visitar la oficina de la empresa; cada vez que se envía una invitación la carta será reeditada, cambiando el

nombre del destinatario, la fecha, etc., pero conservando el texto principal. Este sistema ahorra tiempo y espacio, y también ahorra el trabajo de buscar en el archivo, ya que la máquina se encarga de ello. Se puede archivar en la memoria una agenda de direcciones codificada de manera que se pueda organizar el correo seleccionando los destinatarios. El procesador de textos puede entonces añadir los nombres elegidos al texto de la circular, de forma que cada una parezca una carta personal, así como imprimir los sobres. Debido a que la velocidad de impresión es muy rápida y a que las máquinas pueden estar funcionando continuamente, la utilización de un procesador de textos puede transformar completamente los trabajos de secretaría.

La revolución de la oficina no se detiene aquí; la edición de textos, el archivado automático y la selección de nombres y direcciones que se añaden a los textos, no son más que el principio. Puesto que un procesador de textos es de hecho un terminal de computador, no hay razón para que no pueda ser interconectado a otros computadores o a otros terminales para el tratamiento de textos. Con una red interconectada de este tipo, el correo interno puede ser enviado automáticamente en forma de señales digitales que son canalizadas por el sistema y almacenadas en los archivos electrónicos del terminal del destinatario. Al conectar su terminal el usuario puede echar un vistazo a su "buzón electrónico" para ver si le han dejado algún mensaje. No hace falta enviar ningún papel. Esto mismo puede hacerse con cualquier "documento" producido o almacenado por un procesador. Las oficinas están empezando a prescindir de todo este tipo de papeles.

El correo electrónico puede ser ampliado, naturalmente, más allá de la red informática de una oficina particular. Utilizando los sistemas de comunicación, como la línea telefónica o el sistema por cable (e incluso por radio o vía satélite), es posible interconectar una oficina con otros lugares que dispongan de máquinas compatibles. Cuando esto ocurre, se elimina la necesidad de enviar cartas; el correo se convierte en una transferencia de señales eléctricas desde un terminal de computador a otro. Actualmente ya funcionan sistemas de "teleconferencias", mediante los cuales los

ejecutivos pueden entrevistarse —hablarse y verse— estando en lugares diferentes, evitando de este modo los gastos y los inconvenientes de desplazarse. El correo electrónico hará posible la interconexión de empresas y organizaciones en una nueva y probablemente más estrecha relación, puesto que la información basada en sistemas informáticos puede ser transmitida a enormes velocidades. Naturalmente, el terminal de una oficina puede ser conectado a computadores más grandes, utilizándose entonces tanto para introducir información en una base de datos, como para interrogar al sistema para obtener la información que interese.

El terminal de la oficina se convierte en algo más que un mero procesador de textos; se transforma en un centro de información. Eligiendo los canales adecuados, una secretaria puede, desde su terminal, reservar un billete de avión, obtener informes de otros empleados, enviar memorándums, revisar facturas, confeccionar el calendario de vacaciones de los empleados y obtener los valores de bolsa o el parte meteorológico. La oficina electrónica también hará uso de los servicios de información audiovisuales, lo que dará acceso al personal de la oficina a incontables servicios de información.

Una secretaria que dispone de un procesador de textos se convierte en cierto modo en una operadora de computador, en el sentido de que tiene una interacción con un sistema basado en microprocesadores. Como cualquier usuario de computador, casi con certeza, la secretaria sucumbirá a su hechizo, experimentando la hipnótica, cautivadora y compulsiva interacción hombre-máquina. Los computadores descubren el *hacker* que se esconde en todos nosotros cuando manipulamos el sistema y —a la vez— somos manipulados por él. Cuanto más potente es el computador y más sofisticado es su *software*, más seductor se hará el terminal y más se inclinará el operador a utilizar sus servicios para todo lo que pueda. Al mismo tiempo, las habilidades humanas cambiarán o serán asimiladas por la máquina. El mecanógrafo ya no necesitará preocuparse de la presentación del texto, porque la máquina se ocupará de ello automáticamente, colocando los márgenes, centrando los encabezamientos e incluso separando correctamente las

palabras cuando es necesario hacerlo al final de una línea. Los procesadores de textos pueden ser equipados con un "diccionario" y comparar las palabras mecanografiadas con las palabras ortográficamente correctas que figuran en su memoria, indicando al operador dónde ha cometido un error para que pueda corregirlo. La velocidad de escritura aumenta con un procesador de textos debido a que la máquina se encarga de realizar gran parte del proceso físico, y, de hecho, todo el proceso de mecanografiar se ha transformado: las palabras aparecen escritas en la pantalla sólo hasta que, una vez corregido el texto, esté listo para su impresión.

Las impresoras basadas en el chip reciben señales procedentes de un disco o de otra fuente de memoria y las traducen en órdenes que transmiten a la cabeza impresora. Muchas impresoras que se conectan a computadores crean caracteres alfabéticos y numéricos mediante una serie de puntos o rayitas semejantes a los de un reloj digital. En las oficinas, para obtener una impresión de mejor calidad, los procesadores de textos suelen emplear impresoras de margarita, denominadas así porque los tipos están dispuestos en el extremo de unas varillas fijadas alrededor de un pequeño disco de plástico que semeja una margarita. Este disco es capaz de girar a una gran velocidad, y los caracteres se imprimen mediante el impacto de una palanca, de una manera muy parecida al funcionamiento de una máquina de escribir convencional, pero con mucha más rapidez. Una velocidad típica de impresión podría ser de unos cien caracteres por segundo, aunque la impresora puede almacenar partes enteras del texto —que recibe del procesador— a velocidades mucho mayores.

Naturalmente, la máquina de escribir es sólo uno de los sistemas existentes para imprimir, y la microtecnología ha transformado también otros tipos de maquinaria. En la imprenta tradicional la composición se realizaba en bloques mediante caracteres de plomo, pero en las nuevas formas de composición los tipos de metal han sido reemplazados por procedimientos fotográficos. Una máquina moderna de fotocomposición cuenta con un conjunto de caracteres de impresión generalmente en forma digital. Los caracteres son generados por medio de una pantalla especial y transmi-

tidos ópticamente a una película fotográfica. Haciendo pasar la imagen a través de un conjunto de lentes, puede alterarse a voluntad el tamaño de los caracteres que aparecen en la película. De este modo resulta posible componer una página completa. Revelando la película se obtendrá una plana maestra de la que se sacarán las planchas litográficas para la impresión múltiple. Estas máquinas están basadas en el chip, de modo que la composición puede realizarse con gran rapidez.

La extensión lógica de las máquinas de fotocomposición es su interconexión con un sistema de tratamiento de textos, con lo que el resultado del proceso de edición del texto puede ser determinado ya en la pantalla de composición con tanta facilidad como si se estuviera mecanografiando normalmente. De esta manera, un mecanógrafo puede convertirse en impresor, dejando sin trabajo a la industria tipográfica. Este tipo de maquinaria ha causado ya bastantes dificultades laborales y de dirección, ya que, en principio, un periodista puede sentarse ante un terminal y teclear su artículo. El archivo electrónico con su contenido puede ser transferido a un subeditor que corrija el texto, y el editor puede encargarse de decidir la colocación del texto en la página. Tan sólo apretar una tecla es suficiente para que el texto de las noticias sea compuesto automáticamente y quede listo para imprimir, saltándose algunos de los procesos ortodoxos. De hecho, hoy día resulta factible que un solo periodista edite un periódico, ya que la tecnología ha hecho posible que todas las diferentes tareas sean realizadas por una sola máquina.

La oficina automatizada, especialmente si está interconectada con otras oficinas y redes de información, experimenta una transformación que no se limita sólo al aspecto físico —por la desaparición de los archivos—, sino también a su función. La oficina convencional servía para administrar una organización cumpliendo las funciones que exigía la dirección, pero la oficina de silicio procesa información, convirtiéndose en parte crucial de las transacciones de la organización, puesto que la información se convierte en el principal producto. En este sentido, la propia información queda transformada por el chip; para explicar este punto con más claridad

nos será muy útil tomar un ejemplo de un campo ligeramente diferente.

El tratamiento de la información se utiliza también en la banca, en donde la combinación de los computadores de los bancos con unas rápidas redes de comunicación está transformando no sólo la contabilidad, sino todas las cuestiones relacionadas con el dinero, su uso y transferencia. Cuando me pagan mi salario recibo una nota de mi empresa, impresa por un computador, en la que se me informa de cuánto gano al mes, cuánto se me ha descontado por impuestos, etc. El dinero ha sido transferido a mi cuenta bancaria sin que yo lo vea en forma de billetes, a no ser que canjee un cheque en mi banco. El banco de mi empresa ha transferido electrónicamente el dinero a mi cuenta. No hay nada de extraordinario en todo esto.

Este sistema puede extenderse —y se está extendiendo— a las transacciones de dinero normales y corrientes, que pueden efectuarse de esta manera, evitando así que el dinero tenga que pasar de una mano a otra. El sistema, denominado TEF (transferencia electrónica de fondos), no es como tener una tarjeta de crédito —lo que implica determinados ingresos mensuales—, sino que funciona de forma parecida al pago de salarios que hemos descrito. Una visita al supermercado para hacer la compra puede culminar con la "lectura" de nuestra "tarjeta personal con chip incorporado" por el dispositivo de la "caja registradora", y el dinero del importe de la compra será automáticamente transferido de nuestra cuenta bancaria a la del supermercado. Dejando a un lado, por el momento, los posibles fraudes y errores, lo que ha tenido lugar es una transacción sin dinero en efectivo.

El dinero es considerado como una "cantidad" de información. Los computadores procesan la información y la transmiten de unos a otros con gran eficacia. Por tanto, dejemos que los computadores manejen también esa información a la que denominamos dinero. Sin embargo, el dinero sufre una transformación en este proceso. El dinero, es decir, la moneda, tiene una serie de significados tradicionales y simbólicos. A nivel mundial simboliza la capacidad de una persona y sus posibilidades de cambiar su fuerza de trabajo

por un "vale". Al sustituir la moneda por "dinero" electrónico se pierde el simbolismo de la moneda. Como Joseph Weizenbaum escribe en un artículo titulado *Technological Intoxication:*

«Hubo un tiempo en el que la gente intercambiaba su trabajo directamente por productos. Después la moneda se convirtió en una cuantificación abstracta del trabajo humano. Más tarde los cheques y otros instrumentos financieros se volvieron una abstracción del dinero. Ahora nos estamos acercando a la denominada "sociedad sin dinero", en la que la carrera de los electrones en los computadores —más allá de la capacidad de percepción de cualquier ser humano— se convierte en una abstracción de los instrumentos financieros. Lo que vería un observador de otro planeta sería gente trabajando laboriosamente para engrosar al máximo las corrientes de electrones que fluyen a su favor dentro de invisibles e incomprensibles computadores.»

El cuarto campo en donde se da una aplicación cada vez mayor de la microtecnología es el de la educación, en su sentido más amplio y a todos los niveles. La invasión más evidente del chip en el campo de la educación se manifiesta en la rápida expansión del mercado de calculadoras de bolsillo y aparatos similares. Se trata esencialmente de sistemas electrónicos que contienen un solo chip, y actualmente existe ya una amplia gama de productos de este tipo. Además de las calculadoras de bolsillo convencionales, que pueden contener funciones científicas, estar provistas de "memoria" o incluso ser programables, con una gama de modelos de todos los precios —desde muy baratos hasta muy caros—, existen una serie de novedades en calculadoras educativas. Una de las más típicas es la calculadora para aprender aritmética. La máquina plantea una suma, por ejemplo 23 + 14, y espera la respuesta. Si se marca 37 la máquina propondrá un nuevo problema. Las cuatro operaciones básicas de la aritmética son tratadas de esta manera, aunque la máquina puede utilizarse también como una calculadora normal. Aprender aritmética se convierte en un juego y el niño desarrolla el síndrome del *hacker*.

Una calculadora parecida enseña ortografía por el mismo sistema. La novedad consiste en la sintetización del lenguaje, la máquina "habla" con el usuario para preguntarle cómo se escribe una

palabra u otra. Al teclear las letras de la palabra la máquina las va pronunciando y, si la respuesta es correcta, la máquina le elogiará y le propondrá una nueva palabra. Por supuesto, existen otros modelos con toda una gama de ejercicios para aprender a leer y escribir, con diferentes grados de dificultad. Quizá lo más interesante para nosotros sea la síntesis del lenguaje, ya que no hay nada pregrabado en una cinta como en una muñeca parlante.

Cuando uno habla ante un micrófono, los sonidos que se emiten son convertidos en un complejo de señales eléctricas, que vuelven a ser transformadas en sonidos en el altavoz. En los últimos años los científicos han conseguido codificar las señales que configuran el lenguaje y escribir programas de computador para generar estas señales en sus diferentes combinaciones. De esta manera un computador puede sintetizar el lenguaje humano empleando un altavoz como unidad de salida. También se puede generar música por este sistema: sé de un programa capaz de ofrecemos una buena interpretación del *Preludio* y *fuga para órgano de* Bach, y suena como si fuera tocado competentemente en un órgano eléctrico. La síntesis del lenguaje exige una serie de cálculos muy complejos, y sin embargo ya se utiliza en un juguete educativo relativamente barato. Cuando la máquina "dice" DELETREA CEBOLLA, lo hace componiendo las palabras electrónicamente y dando salida a las señales a través de un altavoz. Este tipo de juguete provoca una fuerte reacción en el que lo usa, creando una necesidad de utilizarlo que no guarda proporción con sus posibilidades. Su valor educativo es discutible; pero, de momento, su acento neutro y su titubeante pronunciación resultan algo divertido, de modo que la calculadora parlante educativa es ya una realidad entre nosotros.

En la escuela, en el hogar o en la oficina, el computador tiene una serie de evidentes funciones educativas, pero, en mi opinión, las funciones educativas más útiles de un computador —cualquiera que sea su tamaño— consisten en construir modelos de las propiedades dinámicas de un sistema y en realizar simulaciones. La combinación del potencial de la informática con la aplicación imaginativa de gráficos de computador puede dar como resultado

la simulación "realista" del vuelo de un avión o del efecto de la contaminación en un lago. Un problema ecológico puede ser analizado en términos de cierto número de variables en interacción, incluyendo las tasas de crecimiento y reproducción de la flora y la fauna, la interdependencia de estos factores del ciclo anual con la cadena de alimentación, etc.; después, la población de un sistema ecológico puede ser representada gráficamente, simulando en pocos segundos lo que en la vida real es un proceso de años. De forma parecida es posible construir un modelo que represente el efecto de la pesca o la introducción de un producto contaminante en un ecosistema; esta clase de simulación resulta instructiva tanto por los factores que se incorporan al programa como por su capacidad demostrativa. Simulaciones más sofisticadas, como por ejemplo la del vuelo de un avión, exigirían la utilización de un computador de gran potencial que funcione en "tiempo real", es decir, que opere a la velocidad en que ocurrirían los sucesos en el mundo real. Puesto que los aviones modernos disponen de control por computador para las alas y superficies de vuelo, para el funcionamiento de los motores y para los instrumentos y la navegación, lo único que se necesitaría para realizar una simulación completa es dejar que el computador "haga volar" la nave y responda al aprendiz de piloto que está al mando del avión. Naturalmente, el avión permanece en tierra y no vuela en absoluto, pero el computador puede generar cualquiera de los problemas que pueda tener que afrontar un piloto. Mediante los gráficos adecuados puede incluso mostrar en el campo de visión de la cabina del piloto a otros aviones volando en las cercanías. En las salas de juegos recreativos podemos encontrar varias versiones primitivas de este tipo de simulación, pero una verdadera simulación puede ser algo completamente convincente.

Los computadores que "enseñan" también son cada vez más populares y sofisticados. Con la ayuda de una de estas máquinas el estudiante puede autodeterminar su aprendizaje y trabajar a su propio ritmo, guiado por el programa del computador a través de una sucesión de preguntas y respuestas que irá superando según vaya aprendiendo. Este tipo de máquina se utiliza para la enseñan-

za de las ciencias, de idiomas y de otros temas de carácter técnico. Aprender cómo programar un computador es un tema apropiado para el aprendizaje programado por computador. En una clase que disponga de este tipo de máquina, los estudiantes pueden aprender diferentes temas y diferentes lecciones del temario al mismo tiempo. El resultado es un cambio en los procedimientos pedagógicos, en la naturaleza de los conocimientos que se enseñan y en el papel desempeñado por el profesor. La invasión del chip transforma todo lo que toca.

Merece la pena comentar algo más acerca de la transformación que produce la tecnología de los computadores en los conocimientos, que es un caso similar al de la transferencia electrónica de fondos. Los computadores pueden manipular cualquier información susceptible de convertirse en dígitos binarios; de ahí que la palabra escrita, las expresiones matemáticas, etc., puedan ser "informatizadas". En la enseñanza, los libros de texto pueden ser programados en la "máquina de enseñar", que estará diseñada tanto para poder responder a las preguntas de los estudiantes como para proponer sus propias preguntas. Sin embargo, el saber no consiste sólo en palabras, frases y expresiones, sino también en inflexiones, énfasis, presentación, expresión corporal, y todo lo que constituye el campo del conocimiento tácito. Es imposible asociar ninguna de estas cosas a un computador porque sólo es un computador, y no un ser humano. Quien escribe el programa del computador es quien controla todo lo que se dice en él; en cambio, cada maestro es diferente, y todos son humanos. La gente no aprende sólo por rutina, por un sistema de memorización y práctica, sino también por interacción humana; así pues, el conocimiento, al ser encerrado en una máquina, cambia de naturaleza: la naturaleza del saber tradicional ha sido transformada, al igual que era transformado el dinero.

Por último, me gustaría dar una idea del modo en que nos afectan las aplicaciones de los microprocesadores en nuestro hogar y en nuestro tiempo libre. Creo que bastará un ejemplo para demostrar no sólo su progresiva multiplicación, sino también el propio poder del chip. Imaginemos que tenemos un sistema de calefac-

ción central controlado por un chip. El sistema estará compuesto por una caldera, varios radiadores con una válvula de control y un termómetro para cada habitación. Tanto los termómetros como las válvulas de control y la caldera estarán conectados a un procesador basado en un chip. Las entradas del sistema serán un programa preseleccionado y los valores de la temperatura; y la salida, el calor que irradian los radiadores. Un sistema así puede ser controlado dinámicamente: se puede calentar cada habitación según el calor que se desee y la temperatura puede ser diferente según las horas del día. Además, cada habitación será independiente de las demás, puesto que será posible elevar o disminuir su temperatura sin importar lo que ocurra en otras partes de la casa. De esta manera se puede calentar la casa del modo más eficaz y controlable, lo que difiere bastante de los sistemas de calefacción convencionales. Una vez más, se trata de una cuestión de información, que puede ser manipulada de acuerdo con las necesidades reales del usuario. Sin embargo, la cosa no termina aquí, porque el procesador que se encarga de controlar la calefacción puede hacer aún más cosas.

La seguridad del hogar puede estar también controlada por el chip, simplemente conectando las puertas y ventanas a un sistema de protección dirigido por el procesador. Si alguien intenta introducirse en la casa, el sistema hará sonar una alarma y avisará, automáticamente, mediante la línea telefónica, a la comisaría más próxima. (Subrepticiamente he establecido una conexión entre el procesador doméstico y el sistema telefónico; próximamente me ocuparé de desarrollar esta parte del sistema.) Además, con este sistema es posible conectar el circuito eléctrico al chip, de manera que cuando la casa quede cerrada por un tiempo parezca que está "habitada", lo que supone una mejora más en el sistema de seguridad del hogar. Las luces pueden encenderse normalmente al anochecer, en una simulación de su utilización acostumbrada, y dar la sensación de que en la casa está viviendo alguien a cualquier observador exterior. Naturalmente, también es posible conectar o desconectar la radio o la televisión por control remoto, echar las cortinas, etc., todo depende de lo complicado que se quiera hacer

el sistema. La casa ha sido transformada en un sistema de información.

Los detectores de humo o de fuego pueden ser conectados a través del "cerebro" de silicio de la casa, y por medio del teléfono, al servicio de bomberos, añadiendo así un servicio de protección contra incendios al sistema de seguridad.

El teléfono será un aparato más sofisticado; un chip incorporado registrará los números telefónicos que se utilicen más frecuentemente, eliminando la necesidad de tener que buscarlos. Si un número está comunicando, el chip lo seguirá marcando hasta obtener respuesta. Si el computador doméstico está conectado a servicios exteriores de información —incluido nuestro banco—, las llamadas telefónicas pueden ser cargadas directamente a nuestra cuenta, y no será necesario que nos manden un recibo. Esta interconexión con el mundo exterior nos permitirá, por medio de la pantalla de televisión, tener acceso a los sistemas de datos audiovisuales, por ejemplo de nuestro banco o incluso del supermercado del barrio. Seleccionando el canal adecuado podremos ver los precios del día de las tiendas del barrio, encargar lo que queramos, pagándolo electrónicamente, y esperar a que nos lo traigan a casa. Sistemas de este tipo están ya en funcionamiento en Estados Unidos y en otros países de Europa, y pueden damos una idea de lo que se avecina.

Los servicios para el público, como la venta al detalle, quedan transformados por el chip. El lápiz óptico que utiliza el cajero lee la información codificada en barras de los paquetes y latas, indicando y sumando los precios de los productos seleccionados. Este sistema está ligado al sistema de abastecimiento y almacenaje de la tienda, de modo que "sabe" cuándo es necesario volver a llenar las estanterías y cuándo hay que reponer las existencias pidiéndolas al almacén general, que, a su vez, estará también automatizado.

Los nuevos teléfonos públicos cuentan con un chip que añade la capacidad de procesar información a los servicios que prestan. El sistema digital para marcar y un indicador que va mostrando visualmente el coste de la llamada según transcurre el tiempo, permiten que lo que se paga corresponda exactamente a la dura-

ción de la llamada. Existen sistemas que permiten pagar mediante una tarjeta magnética que es "leída" por el aparato para deducir de nuestra cuenta el importe del servicio. Y si alguien intenta forzar o destruir el teléfono ¡el aparato percibe el ataque y llama a la policía!

Muchos aparatos domésticos, como las básculas o máquinas para pesar, los procesadores de alimentos, las máquinas de coser, etc., son cada vez más versátiles gracias al control del chip. Los juguetes actuales son frecuentemente electrónicos y funcionan gracias a los programas que llevan incorporados. Los juegos y otras distracciones están orientados hacia la informática, incluyendo los videojuegos y el ajedrez electrónico. Dicho sea de paso, muchos sistemas informáticos para jugar al ajedrez son capaces hoy día de derrotar a la mayoría de sus contrincantes humanos. Los gráficos por computador y los sintetizadores de música han hecho posible que "pintar" y "componer" se hayan convertido en diversiones informatizadas. Las posibilidades son infinitas.

El poder transformador de los procesadores basados en el silicio está desplazando el centro de la vida familiar hacia el monitor de televisión. El computador controla el funcionamiento del hogar e integra a la familia en sus circuitos. Las máquinas que "piensan" están remodelando el mundo en términos electrónicos; los cinco campos de aplicación expuestos en este capítulo pueden servir para ilustrar hasta qué punto ha llegado esta remodelación —este poder transformador— en su aplicación. Consideraremos a continuación adonde puede conducimos todo esto; ya no resulta posible por más tiempo que el mundo permanezca inmune a los cambios que conlleva esta tecnología. La invasión del chip es una fuerza transformadora.

5. Posibles futuros

El futuro es inevitable, pero no la forma que tome. Lo que ocurre al final casi nunca es lo que se esperaba, y sin embargo la especulación acerca de las futuras tendencias y la predicción de lo que ha de venir forman parte del pensamiento y la cultura humanos. El futuro se configura, al menos hasta cierto punto, por el presente; a un pronóstico basado en la proyección de los resultados obtenidos hasta ahora es a lo máximo que se puede aspirar en cuanto a la predicción del futuro. En este capítulo intento presentar una discusión sobre lo que se está haciendo actualmente, sobre lo que se está desarrollando para su futura aplicación, y sobre algunas de las consecuencias generales de las aplicaciones de la tecnología y su difusión hasta el momento.

Se puede elegir entre diferentes futuros, o al menos resulta posible preparar el camino que conduzca a ciertas consecuencias. La elección se limita a esto, puesto que el porvenir nos es desconocido. La gente escoge el camino que espera que le conduzca a donde desea ir. Las personas que tienen poder para ello escogen —acertada o equivocadamente— la comodidad, siguiendo los caminos que consideran más apropiados por un motivo u otro. Los fabricantes y los que promueven la tecnología dirigen a la gente por determinados caminos ofreciéndoles tecnología. Una vez que ésta ha sido aceptada —al menos implícitamente— ya se ha efectuado la elección, y a partir de entonces ¿quién se atreverá a interponerse en el camino del desarrollo tecnológico? La tecnología se "vende" como progreso, y hacia donde vaya la tecnología la sociedad ha de seguirla. Tendríamos que retroceder hasta la antigua China, o hasta la ciencia islámica de principios de la Edad Media, para encontrar casos en los que se descartaron deliberadamente ciertas tecnologías debido a su incompatibilidad con los fines que estas sociedades perseguían. Los chinos inventaron la pólvora, pero decidieron no construir armas de fuego. En nuestra cultura

occidental se acepta generalmente la idea del imperativo tecnológico que, como la selección natural y la evolución, nos conduce inevitablemente por el camino que quiere, impidiéndonos dirigir los cambios y el progreso.

Este imperativo implica que el invento de una nueva técnica exige su adopción y su desarrollo y, a pesar de que hay innumerables ejemplos de inventos "inútiles" que ni siquiera han llegado a desarrollarse y han desaparecido, la tendencia general ha sido la de perseguir el desarrollo de la tecnología por la tecnología. El imperativo tecnológico conlleva un desarrollo automotivado e implica que éste sea en cierto modo inevitable. Este enfoque de la tecnología es, por supuesto, cuestionable y envuelve consideraciones más amplias acerca de la sociedad y de la relación del hombre con la naturaleza, que analizaremos con mayor profundidad en el capítulo 6. Pese a todo, se promueve la tecnología y se planifica el futuro como si la idea de este imperativo fuera cierta.

El imperativo tecnológico de la informática y de la microelectrónica avanza en determinada dirección y nos ofrece varias posibilidades de futuro. Está por ver si somos capaces de elegir o no. Que estas posibilidades se conviertan o no en realidad no va a depender necesariamente de la elección que hagamos. Es indudable que existe un potencial para estos futuros puesto que se están produciendo algunos avances cruciales que los configurarán. Es a estos futuros a los que nos vamos a referir a continuación.

Uno de los tópicos en las investigaciones de la informática es la denominada "inteligencia artificial", o IA. Éste es un campo de estudio que se ocupa del desarrollo de programas de propósito general para la resolución de problemas imitando a la inteligencia humana. Gran parte de las investigaciones sobre la IA se centran en el análisis del lenguaje y en los procesos de "aprendizaje", con la finalidad de llegar a producir máquinas "inteligentes". No está claro en absoluto que los objetivos a largo plazo de la "inteligencia artificial" vayan a ser alcanzados; por ahora, la dificultad de encontrar una teoría de la semántica adecuada parece ser insuperable. Sin embargo, se ha conseguido cierto progreso a corto plazo y en áreas limitadas. Mediante la combinación de los conocimientos

tecnológicos de ingenieros y científicos de la informática con los conocimientos de *software* de los investigadores de la IA, se ha conseguido construir robots; otro de los mayores avances ha sido la producción de máquinas capaces de "aprender" y el desarrollo de "sistemas expertos".

El proceso de aprendizaje de la máquina está basado en un programa, compuesto quizá por una serie de normas, que permite que la máquina descubra nuevas reglas, simplificándolas o alterándolas de algún modo a la luz de su propio funcionamiento, o sea, por su interacción con el mundo exterior. El programa de "aprendizaje" supone que la máquina es capaz de modificar sus propias instrucciones a la luz de ciertos resultados intermedios. El sistema denominado BOXES, desarrollado por Donald Michie en Edimburgo, es un ejemplo de un programa de este tipo. El BOXES consistía en una base móvil sobre una pista cuya misión era "aprender" a mantener en equilibrio una barra, moviéndose de modo parecido a como lo hace una mano para sostener en equilibrio vertical una pértiga. El sistema contaba con un "ojo" de TV, y el programa consistía en una serie de reglas que indicaban a la base móvil cómo moverse para conseguir su objetivo. Sin embargo, las reglas habían sido establecidas con datos determinados al azar, de modo que no eran necesariamente reglas correctas. La máquina tenía que descubrir cómo equilibrar la pértiga mediante la modificación de las reglas a partir de su propia experiencia, alterando y perfeccionando las reglas hasta llegar a obtener un resultado óptimo. Según el sistema iba adquiriendo "experiencia" iba convirtiéndose en un experto equilibrista.

Los programas también pueden "aprender por experiencia" mediante una continua actualización de su "memoria" a través de las nuevas informaciones que se les suministran. Así, es posible "mostrar" un objeto a la máquina por medio de su "ojo"-cámara y decirle de qué objeto se trata, por ejemplo, de un lápiz. La máquina analiza el objeto en términos de su forma general y de sus características peculiares, y puede después intentar distinguir el lápiz de otros objetos. Cuantos más lápices "vea" más capaz será de identificarlos, puesto que "aprende" las características esenciales del

objeto por el análisis de la imagen del objeto y por medio de las preguntas que realiza. Por ejemplo, puede preguntar por qué el objeto era un lápiz si no tenía una punta afilada; a lo que se le podría contestar que a los lápices hay que sacarles punta. Esta información sería analizada y sintetizada junto a los datos que la máquina ya conoce. De este modo se va formando en la máquina —del modo más económico posible— una descripción clara e inequívoca de las propiedades de los lápices, mediante la autoeliminación de los datos innecesarios; esto va unido a una capacidad de procesamiento de la imagen mediante la cual las imágenes visuales pueden ser descompuestas en formas, matices y superficies inequívocas, y contrastadas con las propiedades ya descritas y clasificadas de los objetos "conocidos".

También es posible el "aprendizaje" de las máquinas por medio de historiales clínicos. Se programan en el computador algunos factores básicos de un fenómeno concreto —por ejemplo, de una enfermedad— junto a otros datos fundamentales y algunas historias clínicas de casos típicos que ilustran los diferentes modos en que se ha manifestado la enfermedad a través de toda una serie de síntomas. El programa analiza los historiales clínicos y se construye su propia imagen de cómo se manifiesta la enfermedad. Después se presentan al computador una serie de casos para que efectúe su diagnóstico y se le indican sus errores y aciertos. El computador utiliza esta nueva información para modificar la imagen que se ha formado de la enfermedad e intentar de nuevo realizar un diagnóstico. Mediante este método (cuyos detalles técnicos no intentaremos describir aquí) el programa "aprende" a diagnosticar una o más enfermedades con un porcentaje de aciertos que rápidamente va aproximándose al cien por cien. El "aprendizaje" de las máquinas, al menos en las limitadas experiencias realizadas hasta la actualidad, ha resultado ser muy eficaz.

Una vez que las máquinas han sido programadas para "aprender" es posible "adiestrarlas" para que se conviertan en "expertos". El desarrollo de "sistemas expertos" es quizá la aplicación más importante de los avances en las investigaciones sobre la "inteligencia artificial" efectuadas en el presente. El "sistema experto" ha

sido definido por Donald Michie como «un sistema informático en el que se han incorporado suficientes conocimientos estructurados sobre determinado campo específico de pericia humana para *hacer posible que el sistema pueda desempeñar las funciones de un experto asesor a un coste rentable» (Micro electronics and Society*, editado por T. Jones, pág. 115). Un sistema informático dotado de conocimientos de experto puede actuar como asesor, del mismo modo que lo haría una persona experta. Una vez amortizado su coste, el sistema informático experto resulta mucho más barato que los servicios de un asesor, posiblemente más fiable y, desde luego, ajeno a las tensiones y fatigas que afectan a los expertos humanos, teniendo quizá la ventaja de haber sido "adiestrado" por varios expertos diferentes. Un "sistema experto" podría englobar toda la experiencia de varias personas expertas, y por tanto, en principio, sería mucho más experto que cualquiera de ellas. Esta proposición, evidentemente, no tiene en consideración los aspectos humanos —tácitos o no— del conocimiento, pero, aparte de esto, hay que reconocer que tiene cierta lógica.

Un "sistema experto" también puede ser utilizado para "enseñar", o sea, para transmitir su experiencia a las personas que estén aprendiendo y entrenándose en la materia. Ya se tiene noticia de que en un hospital de Gran Bretaña los futuros médicos no sólo prefieren ser enseñados por un computador sino que, de hecho, aprenden más rápidamente y con mejores resultados que sus compañeros instruidos por profesores humanos. Los sistemas expertos se emplean ya en diagnosis médica, en psicología, en agricultura, análisis químicos, en economía, en estudios geológicos para la industria minera, en ingeniería y análisis estructural, en diseño asistido por computadores, en matemáticas y en diferentes tipos de juegos. Los sistemas de "bibliotecarios expertos", o sistemas de información, son una de las más importantes líneas de desarrollo en la aplicación de la IA; un sistema realmente inteligente tendría capacidad para responder a preguntas relacionadas con uno o muchos campos del conocimiento. Un sistema de información "informatizado" capaz de asimilar y elaborar extractos científicos sería ciertamente un excelente servicio de consulta para los inves-

tigadores científicos, siempre que fuera lo suficientemente sofisticado. En este sentido, desde hace algunos años está funcionando lo que podríamos considerar como las primeras fases de un sistema universal de este tipo.

Una de las predicciones que pueden hacerse con cierta seguridad sobre el futuro es que los computadores capaces de "aprender" y los "sistemas expertos" van a desarrollarse rápidamente y van a tener cada vez más campos de aplicación. No es difícil imaginar que en el futuro el diagnóstico por computador se convierta en una rutina en las consultas de los médicos; de hecho, la visita al médico llegará a ser innecesaria, puesto que las personas que dispongan de un sistema de información en su casa podrán conectar con el computador del médico para efectuar su diagnóstico sin que sea necesaria —al menos al principio— la presencia personal del doctor. La función del médico cambiará bastante, en el sentido de que se convertirá en una especie de ayudante del "sistema experto" que se ocupará de describir los síntomas y autorizar los medicamentos, actuando en general más como una enfermera que como un médico y concentrándose sobre todo en confortar y ofrecer comprensión a los pacientes —asumiendo más bien el papel de un asistente social—, dejando que la máquina se ocupe de los aspectos técnicos.

De un modo similar, una visita a (o una conexión con) un abogado significará consultar un "sistema experto en asuntos jurídicos". Incluso se ha llegado a proponer que un computador desempeñara las funciones de juez, porque dispondría de un mejor acceso directo a casos anteriores y a precedentes legales, y una mayor capacidad para analizarlos. Se ha sugerido que un "juez" de este tipo sería capaz de emitir sentencias más fiables, más coherentes y más imparciales, y de presentar al jurado un sumario más objetivo que un juez humano. Sin embargo, hay que resaltar que un sistema de este tipo, pese a ser capaz de funcionar impecablemente en cuanto al análisis cuantitativo de precedentes legales, y pese a tener acceso a un vasto almacén de conocimientos legales, no podría equipararse a un juez humano en el juicio tácito del carácter y la personalidad de un acusado o un testigo, por ejemplo. La reac-

ción de un ser humano hacia otro ser humano, a pesar de lo insegura o imparcial que pueda ser, es parte de la condición humana, y no hay ninguna máquina que pueda emular al ser humano. La máquina es una herramienta y, por muy útil o potente que sea, debe permanecer como herramienta y no convertirse en un sustituto de las relaciones humanas.

A pesar de estas consideraciones, hay mucha gente que prefiere que sea una máquina la que realice el diagnóstico, porque les parece que así es más confidencial, que la máquina no les somete a juicio y que es más objetiva que sus homólogos humanos. Muchas personas opinarían que los jueces deberían ser reemplazados por "sistemas expertos" que estarían libres de las manías subjetivas que manifiestan algunas personas. Esta cuestión es todavía muy nueva; según vaya haciéndose más patente el potencial de estos sistemas, el debate se irá haciendo más apasionado. Los técnicos nos presentarán una serie de posibilidades; la sociedad —argumentarán ellos— deberá elegir, rechazar o modificar estas posibilidades. El argumento del imperativo tecnológico sostiene que ocurrirá lo inevitable, que la realización de dicho potencial es algo "ineludible", no una elección. La tecnología se elige a sí misma. Los economistas de mercado pueden alegar que los nuevos avances tecnológicos sólo adquirirán importancia si la gente así lo desea; sin embargo, la respuesta de la sociedad va a depender de las alternativas que se le presenten y de las que se encuentran ya disponibles. En la actualidad ya existen "sistemas expertos" y máquinas capaces de "aprender" y se continúa trabajando en su desarrollo de cara al futuro.

Uno de los aspectos de la "inteligencia artificial" que ya hemos comentado es el reconocimiento de formas, que es en sí una manera de "aprender" y adoptar una serie de reglas y condiciones dadas. Hasta ahora nos hemos limitado a mencionar el reconocimiento de formas a partir de datos visuales cuidadosamente analizados; otra modalidad importante del reconocimiento consiste en analizar y estructurar esas complejas formas audibles que denominamos lenguaje. La complejidad del reconocimiento del lenguaje supone no sólo problemas de pronunciación, dialectos, argots y ritmo, sino

también de comprensión del lenguaje en su contexto; lo que nos remite de nuevo al problema de la falta de una teoría del lenguaje y de la semántica. Estas dificultades hacen que el reconocimiento del lenguaje no sea sólo una cuestión de aplicación técnica, sino uno de los más importantes campos de interés a nivel teórico y de investigación. La resolución de este problema significaría la eliminación de otras grandes barreras que obstaculizan la consecución de elevados niveles de "inteligencia artificial".

Aparte de esto, ya se han obtenido ciertos progresos en programas para el reconocimiento del lenguaje. Se ha programado a algunas máquinas para que reconozcan un vocabulario reducido, cuidadosamente pronunciado o emitido por una voz en particular. Existen máquinas que pueden "escuchar" y "responder". En el futuro habrá muchos programas de este tipo que encontrarán innumerables aplicaciones.

A una máquina capaz de "aprender" se le puede enseñar a reconocer una voz en particular que diga determinadas frases; esta habilidad puede ser utilizada para fines de seguridad e identificación. Así, por ejemplo, cuando uno quiera utilizar el coche, en vez de usar una llave para abrirlo, le dirá al coche que abra la puerta. Éste podría contestar, como los marineros de guardia del buque británico *Pinafore*, pidiendo una contraseña: "¿Si qué?"; y uno tendría que responder: "Si os place." Al reconocer la voz y diferenciarla de la de cualquier otra persona, el coche desbloquearía la puerta y, dándole otra orden similar, se pondría en marcha. Si uno ha bebido demasiado y no pronuncia bien, el coche no reconocerá completamente la voz, y no le permitirá conducir. El sistema de órdenes verbales dadas a las máquinas es la base de esta aplicación y puede ser ampliada, más allá del mero control de un coche privado, al control de aeronaves y a trabajos en donde la posibilidad de dar órdenes verbales permita efectuar rápidas modificaciones sin necesidad de efectuar operaciones manuales.

Un chip integrado en una tarjeta plastificada, que podría utilizarse como tarjeta de crédito o para efectuar transferencias electrónicas de fondos, podría incluir un dispositivo para el reconocimiento de la voz, a fin de evitar el fraude y los abusos. Así, para

activar la tarjeta su titular tendría que hablar, por ejemplo, dando su nombre y dirección o diciendo alguna contraseña establecida. También sería posible codificar en los circuitos de esta tarjeta las huellas dactilares del propietario, y así, en caso de duda en cuanto a la identificación de la voz, el sistema podría exigir examinar las huellas dactilares mediante un sensor óptico integrado en la terminal de la máquina que admitiera este tipo de tarjeta. El sistema del reconocimiento del lenguaje haría que pudiéramos ordenar al teléfono que marcara un número determinado, a la televisión que se encendiera o se apagara ella sola, etc.; las posibilidades son infinitas.

Los sistemas de reconocimiento del lenguaje, al igual que gran parte de las investigaciones sobre la "inteligencia artificiar", están siendo desarrollados por y para el ejército. Su finalidad es doble. La posibilidad de dar o recibir órdenes verbales de una máquina tiene una serie de aplicaciones militares bastante obvias. Es fácil imaginar armas que en caso de ser capturadas por el enemigo no pudieran ser disparadas por no reconocer las voces o su acento. También podrían estar programadas para autodestruirse en cuanto se intentara manipularlas. Aparte de esto, existe también un servicio de inteligencia militar (y civil). Precisamente es en este campo en donde más investigaciones se han realizado sobre el reconocimiento óptico de formas, hasta el punto de que una firma americana se anunciaba al público con el eslogan: «Somos capaces de enseñar a un computador "ciego" a "ver" un tanque.» (¡Por lo menos se molestaron en poner las comillas!) El reconocimiento de la voz podría desarrollarse hasta hacer que fuera posible controlar lo que ocurre en el mundo desde un satélite espía y captar las llamadas telefónicas y los mensajes de télex. Un computador "adiestrado" para reaccionar a palabras clave en las conversaciones sería capaz de controlar un vasto número de llamadas telefónicas, transmitiendo a las correspondientes autoridades la información "útil" que descubriera. Después de todo, los computadores son ideales para desarrollar trabajos rutinarios y monótonos, y no cabe duda de que la misión de vigilar lo es. Más adelante nos ocuparemos de la problemática moral, social y legal que supondría la rea-

lización de estas posibilidades; el futuro que nos ofrecen tales avances puede hacer sentirse a la gente más segura o más insegura, según sea su punto de vista, pero de todos modos se predice que estos sistemas serán viables comercialmente hacia finales de la década de los años ochenta, y hay que tener en cuenta que las predicciones que se han ido haciendo durante los últimos ocho o diez años sobre el desarrollo y las aplicaciones de los computadores han resultado bastante exactas.

La "inteligencia artificial" ha contribuido ampliamente al desarrollo de los robots. La palabra ROBOT conjura toda una serie de connotaciones explotadas por los escritores de ciencia ficción y fue utilizada por primera vez por el dramaturgo checo Karel Capek en su obra *Rossum's Universal Robots* (R.U.R.), escrita en 1921. El término *robot* viene de una palabra checa que significa trabajador —en el sentido de alguien que realiza trabajos pesados— y denota hombres mecánicos relativamente sofisticados. Actualmente se considera a los robots de manera parecida a como se considera a los computadores: como máquinas universales para la realización de trabajos prácticos. Los robots no son simplemente máquinas automáticas; son máquinas totalmente automatizadas que pueden ser programadas para desarrollar toda una gama de tareas.

En realidad, los robots no suelen parecer robots; no están diseñados para que tengan apariencia de humanoides. Los robots como C3P0, de la *Guerra de las galaxias*, son pura ciencia ficción, aunque hay que admitir que R2D2 se parece mucho al robot experimental construido en la Johns Hopkins University a principios de la década de los sesenta, llamado *Hopkins Beast* (La Bestia de Hopkins), programado para detectar enchufes en los que recargar sus baterías. Sin embargo, la mayoría de los robots tienen la apariencia de cajas con brazos mecánicos provistos de pinzas para manipular piezas, o son parecidos a máquinas más corrientes, por ejemplo, a una carretilla elevadora, con la excepción de que no necesitan operarios.

Los robots constan de cuatro elementos fundamentales: sensores, ejecutores, sistemas de alimentación y computadores. Los sensores típicos son los que detectan luz, sonido, presión, distan-

cias; proporcionan al computador información sobre la posición y estado de funcionamiento de todas sus partes mecánicas, así como de su orientación en el espacio y en el tiempo con respecto al entorno y al trabajo que realizan. Los ejecutores son los brazos, manos, ruedas y otros dispositivos de manipulación, con los que el robot lleva a cabo su tarea en un entorno determinado. El sistema de alimentación puede ser neumático, mecánico o eléctrico, aunque lo más probable es que se trate de una combinación de estos tres sistemas. Los computadores pueden ser de tamaño medio o grande, y estar conectados con el robot directamente, por cable o por radio, o también pueden ser microprocesadores internos, o una combinación de ambos. En capítulos posteriores se describirán los experimentos en robótica que se están realizando; ahora nos ocuparemos de sus aplicaciones industriales.

Actualmente existen ya más de veinte mil robots industriales funcionando en diversas partes del mundo; la mayoría en Japón, Estados Unidos y Europa. Su utilización va desde el simple transporte de cajones o piezas, en fábricas y almacenes, hasta la fabricación y montaje de coches. Se emplean robots para cargar, distribuir y empaquetar cajas, en la industria metalúrgica, y en trabajos de soldadura de diferentes tipos. Se emplean también en las fábricas de cristal, y en la inspección y control de productos, así como en el ensamblaje de las partes de utillajes complejos. Se utilizan además en trabajos de mantenimiento y reparación, por ejemplo, para controlar circuitos eléctricos y reemplazar los componentes averiados. A continuación presento un ejemplo —relacionado con el trabajo de pintar a pistola— de cómo se puede utilizar y "enseñar" a un robot a realizar un trabajo.

Imaginemos un robot con un brazo flexible, extensible y manipulare en alto grado, cuya posición y movimientos pueden ser alterados continuamente; el robot, mediante complejos sistemas sensores y de realimentación, "sabe" exactamente dónde está el brazo y cómo está operando. Este brazo puede ser dotado de una boquilla pulverizadora, un tubo que la comunique con el depósito de pintura y una serie de controles que regulen el flujo de la pintura. Así, este "pulverizador de pintura" está listo para trabajar, pero

necesita instrucciones que le indiquen lo que tiene que hacer. Pintar a pistola un objeto complejo, como por ejemplo una silla tubular, requiere cierto grado de habilidad para conseguir que la pintura sea aplicada por igual sobre toda la superficie tridimensional. La silla podría estar suspendida de un brazo giratorio, también parte del robot o conectado con él. Una vez pintada podría pasar automáticamente a una cámara de secado; entonces el brazo tomaría otra silla de la cadena de producción. Para enseñar al robot a pintar, un operario humano dirigiría inicialmente al robot a través de todo el proceso. El pintor experimentado coge el brazo con la boquilla, que está acoplada al aparato de aspersión y va provista de un gatillo normal, y procede a pintar la silla. El brazo se limita meramente a registrar cómo va siendo movido según el pintor va realizando el trabajo. Una vez que se le ha mostrado cómo hacerlo, el robot es capaz de repetir la compleja secuencia de movimientos cuando se le ordene. Ha "aprendido" el oficio humano de pintar sillas a pistola. Como máquina de propósito general, este robot podría ser "enseñado" a pintar cualquier otro objeto o, modificando adecuadamente sus herramientas ejecutoras, ser utilizado para otros propósitos industriales. La transformación provocada por la automatización de la industria ha restado importancia a la especialización en un tipo de producto, debido a que las máquinas pueden ser programadas para cualquier otro tipo de trabajo.

Los robots están ya entre nosotros, y su creciente utilización en el futuro es inevitable. Su coste disminuye según va aumentando su fabricación; una vez que su coste sea equivalente al salario de tres años del empleado cuyo trabajo pueden sustituir, su instalación se hace muy rentable. Con este precio, no hay razón para que no se amorticen en un plazo de un año, o año y medio, ya que si es necesario son capaces de trabajar ininterrumpidamente dos o tres tumos diarios. Actualmente ya hay algunos robots que cumplen estas condiciones en cuanto al coste. Cuanto más general es su aplicación, más caras resultan las máquinas, pero incluso los robots más costosos, debido a su eficiencia y a su capacidad de rendimiento, resultan una tentación para el empresario como alternativa a la fuerza de trabajo humana. Las nuevas industrias se bene-

fician especialmente al invertir desde el principio en la automatización robótica, y así no resulta sorprendente que los robots estén siendo construidos ya por robots. En Japón funciona, día y noche, una fábrica de robots completamente automatizada. Durante el día los operarios humanos controlan el funcionamiento de la fábrica; por la noche, después de que todo el personal se ha marchado a casa, la fábrica continúa funcionando como si nada hubiera cambiado.

El diseño asistido por computador permite que un trabajo de diseño con un alto grado de sofisticación sea realizado en gran parte por el computador, haciendo innecesario a un gran número de dibujantes técnicos y empleados. En este sentido, los propios robots están diseñando y construyendo la próxima generación de robots. La utilización de métodos de diseño asistido por computador y de programas de asesoramiento ergonómico, como el SAMMIE (System *for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation* = sistema de asistencia para la evaluación de la interacción hombre-máquina) o el GRASP (*Graphical Robot Assessment and Simulation Package* = asesoramiento por robot y programas de simulación gráficos), desarrollados en la Universidad de Nottingham, permiten a los diseñadores de sistemas considerar y determinar el modo en que los operarios, humanos o robots, puedan funcionar mejor en cierto medio de trabajo, y modificar de acuerdo con esto el diseño de dicho medio.

Así, por ejemplo, el tamaño y la posición de los espejos retrovisores de los camiones y autobuses puede perfeccionarse al máximo mediante el diseño asistido, por simulación de las tres dimensiones del campo de visión existente en la cabina del conductor. También se puede diseñar el proceso de manipulación de una pieza de trabajo; sus diferentes posiciones y la secuencia de una serie de maniobras ejecutadas por un conjunto de brazos robóticos en una cadena de producción. Este tipo de *software* amplía enormemente el campo de posibilidades de los diseñadores para experimentar y comprobar diferentes alternativas sin tener que recurrir a la construcción de varios prototipos, que resultaría muy costosa.

La proyección al futuro de los campos de aplicación que se están investigando ha dado lugar al concepto de la llamada sociedad sin trabajo, en la que la mayoría de los trabajos manuales, de oficina o de tipo administrativo, serán realizados por máquinas. En tal sociedad el desarrollo de los "sistemas expertos" hará posible que incluso el trabajo de los profesionales cualificados sea automatizado, dejando a la gente poco o ningún trabajo en el sentido tradicional de la palabra. Este tipo de sociedad ha sido denominada también "sociedad del ocio", término que resulta equívoco y que contiene alusiones propagandísticas debido a que sugiere que todo el mundo podrá disfrutar del ocio en vez de señalar que la gente estará desempleada. Hay un chiste gráfico en el que se ve a un trabajador sentado en el control de una compleja máquina simuladora de trabajo; ¡el último grito en pasatiempos!

Reeducar a la gente para que cambie los fundamentos de su vida y renuncie a la denominada ética protestante del trabajo en favor de un estilo de vida "creativo" y basado en el ocio, es una de las propuestas más comunes ante este potencial futuro; sin embargo, la base de la tecnología misma se halla fuertemente vinculada a esta ética del trabajo y puede que no sea posible recoger el fruto de la tecnología sin practicar dicha ética. Del mismo modo resulta ingenua la propuesta de volver a fomentar la artesanía y las industrias caseras para contrarrestar el aburrimiento de un mundo en el que todas las necesidades materiales estén cubiertas por medio de robots. La actitud mental de aquellos que están a favor de la artesanía y la de los que desean una sociedad automatizada son bastante diferentes; demasiado para que puedan quedar unidas en un único modelo social.

Con frecuencia se da por supuesto que las industrias de servicios tenderán a desarrollarse, que su personal estará muy bien considerado y que esto cubrirá las aspiraciones de trabajo de mucha gente. Sin embargo, la realidad es que el sector de servicios está siendo automatizado tan rápidamente como el sector industrial, o incluso más. Las presiones económicas están causando en los países industrialmente desarrollados grandes pérdidas de puestos de trabajo dentro de los sectores asistencial y de servicios del

mercado de trabajo. Por tanto, las predicciones que pueden hacerse basándose en las tendencias actuales son bastante pesimistas. El empleo en el sector de servicios no llenará necesariamente el vacío de puestos de trabajo en una *sociedad sin trabajo*.

Se nos ha pintado un cuadro que muestra una próspera sociedad postindustrial en la que la producción de todos los artículos que el hombre necesita es llevada a cabo por los robots, creando así riqueza para toda la sociedad; mientras tanto, la gente disfrutará de un elevado nivel de vida, gozando de una educación continua, dedicándose a divertirse y a sus aficiones, y desarrollando sus relaciones humanas, con muy poca —si es que hay alguna— actividad laboral. Ésta sería la imagen de la *sociedad sin trabajo* a la que nos conduce la robótica. Esta concepción supone, acertada o equivocadamente, que la gente será reeducada para el ocio, que se sentirá feliz de ir a hacer deporte o a la ópera todos los días —si eso es lo que le gusta— y que no esperará, ni deseará, trabajar.

Otras visiones del futuro predicen una *sociedad sin papel* y una *sociedad sin dinero.* Estos dos potenciales son aspectos de una *sociedad informatizada, o* de lo que James Martin denominó como *la sociedad electrónicamente interconectada (the wired society).* Tales visiones del futuro —que se derivan del desarrollo tecnológico actual y que, por tanto, no son tan fantasiosas— suponen siempre la existencia de sistemas de redes de comunicación mundiales que conecten los hogares, las oficinas, las empresas, los organismos gubernamentales y los centros de recreo, formando una gigantesca malla de flujo de información. Los hogares se convertirán en lugares de trabajo y de recreo, eliminando la necesidad del costoso transporte, ya que será posible entrevistarse con compañeros de trabajo o amigos a través del canal de vídeo. El contenido de los documentos podrá ser transmitido electrónicamente, eliminando así el papel —lo que contribuirá a proteger los árboles—, que se habrá convertido en algo obsoleto. Los contratos podrán ser firmados desde dos lugares diferentes utilizando lápices luminosos en el terminal de vídeo, que será capaz de producir un documento escrito —si se desea obtener una copia en papel—

mediante una impresora gráfica. El dinero se transformará en bits de información, y las transacciones se efectuarán electrónicamente.

Los canales dúplex harán posible que los terminales de televisión funcionen como dispositivos tanto de entrada como de salida. El telespectador podrá comentar y criticar el programa que esté viendo. Se podrán realizar sondeos instantáneos de opinión; los telespectadores que participen en ellos podrán enviar sus respuestas a un computador encargado del recuento de votos a través de la línea. La "democracia instantánea" podría extenderse también a la toma de decisiones políticas importantes.

Los directivos de los bancos serán técnicos y su habilidad para juzgar humanamente a sus clientes y para decidir correr ciertos riesgos será sustituida por la decisión de computadores, que considerarán la posibilidad de conceder un crédito a determinada persona basándose en datos objetivos y cuantificables. El mundo quedará envuelto por una malla electrónica: vídeo, estéreo, visualización de datos, redes de comunicación.

Las nuevas tecnologías harán que disminuya la contaminación, puesto que sus técnicas son más "limpias" que las de las antiguas industrias mecanizadas. Se reducirá la congestión de las carreteras, disminuyendo incluso la construcción de autopistas, puesto que la gente podrá "viajar" sentada cómodamente en su casa y "visitar" a sus amistades a través de sistemas electrónicos de comunicación. La desaparición del papel significará que habrá más árboles y una mejor administración ecológica, pero ¿a qué precio? Con la extensión de las conexiones por satélite a todos los confines del globo, las culturas tenderán a desaparecer. Aunque se alegue que las culturas que aún conserven sus peculiaridades podrán ser difundidas por todo el mundo a través de los sistemas de redes de información, lo cierto es que *la sociedad interconectada* es producto de una cultura determinada, de una cultura imperialista, a quien proporciona los medios para establecer su dominio sobre el mundo. Dentro de su absorbente red será imposible la supervivencia de otras culturas.

Pero, puesto que las tecnologías también experimentan transformaciones, ¿qué transformaciones habrán tenido lugar en esos

mundos futuros? Nuestra cultura orientada hacia el consumo se habrá convertido en una cultura orientada hacia la información. No existirá el dinero, ni el papel, y habrá muy poco trabajo en la forma que conocemos. Leer un periódico significará examinar una pantalla de televisión mientras vamos pulsando botones para "pasar" las hojas. Entrevistarse con un conocido será "verse" mutuamente en pantalla, sin poder tocar, oler o saborear cosas que de otro modo podrían ser compartidas; el encuentro se reducirá a la imagen y el sonido, y ni siquiera éstos serán reales, porque serán emitidos por aparatos electrónicos. Las compras se harán desde el terminal, los productos aparecerán en la pantalla del consumidor y serán seleccionados, pagados automáticamente y llevados hasta su puerta. El ejercicio físico formará parte de las actividades de ocio. El trabajo de las fábricas lo realizarán los robots, y el de las oficinas los computadores. Los niños serán instruidos por máquinas; las máquinas desempeñarán el papel de médicos, abogados y asesores. El hogar se habrá convertido en un sitio diferente, aislado de la naturaleza y protegido contra los desposeídos.

En los libros que se han escrito sobre este tema no se habla nunca —al menos en los que yo he leído— de aquellos que no puedan, o no quieran, participar en un futuro de este tipo. Algunas personas, por carecer de educación o de dinero, por incapacidad o por inadecuación, no podrán tener oportunidad de disfrutar de este mundo de información. Si alguien, por los motivos que sea, no es apto, no podrá obtener su tarjeta de crédito con un chip integrado y, por tanto, no podrá pagar mediante el SETF (sistema electrónico para la transferencia de fondos). En una sociedad sin dinero, ¿cómo podrán pagar los pobres? En Estados Unidos existen ya empresas que sólo admiten tarjetas de crédito; no se acepta dinero en efectivo, porque es una incitación al delito. Pero si los desposeídos no tienen acceso al supermercado ni a los frutos de la sociedad, y ni siquiera tienen la posibilidad de robar dinero, ¿a qué pueden recurrir? ¿Tendrá que estar el hogar electrónico fortificado contra aquellos que no participen en la vida electrónica? También en Estados Unidos se están construyendo y habitando actualmente pueblos rodeados por muros de protección para impedir que entren

los delincuentes, para defender a los que tienen de los que no tienen.

¿Y qué será de los que voluntariamente decidan no participar, de los que rechacen las tarjetas de crédito electrónicas y deseen tener su dinero en efectivo? ¿Y qué ocurrirá con los que quieran que sus hijos sean educados por personas, o pretendan hablar con la gente cara a cara, no imagen a imagen? Y los que no deseen tener en su casa un terminal, ¿podrán comprar, enterarse de las noticias o participar en una votación? ¿Existirá una sociedad alternativa paralela a la electrónica; una sociedad "interconectada" y otra "desconectada"? Los futuros basados en la aplicación de estas nuevas tecnologías, ¿significan progreso y desarrollo cultural, o son los ingredientes de una pesadilla? En realidad, el futuro nunca resulta como se espera; las dos alternativas que he esbozado son sólo dos extremos. Se preconiza una sociedad interconectada y se aspira activamente a ella, pero nadie parece preocuparse de crear alternativas. Probablemente en el futuro se den ingredientes de ambas posibilidades, pero nuestra preocupación ahora debería ser el proceso de elección.

El imperativo tecnológico exige una sociedad informatizada, y la exige a nivel mundial. Este imperativo da por sentado que el desarrollo —tal como ha sido esbozado aquí— es la más elevada forma de progreso y evolución social. El progreso, sin embargo, ha de tener algún propósito, alguna meta que alcanzar; más que "comprar progreso", la gente debería decidir primero qué metas quiere alcanzar y cuál es el mejor modo de alcanzarlas. Los futuros posibles que he esbozado en este capítulo serían consecuencia del camino por el que nos lleva la tecnología de la informática y de la comunicación. Si se trata, o no, de las metas que quiere alcanzar la gente no es algo que se cuestione con seriedad, así como tampoco se analizan seriamente las posibles consecuencias. Para poder hacer una valoración de la tecnología existente y considerar a lo que nos podría llevar en el futuro, es necesario volver la vista hacia el pasado. Sólo a la luz de la historia y del papel que desempeñó la tecnología en el proceso de cambio de la sociedad, y a la luz de los orígenes de la propia informática, puede ser juzgada la nueva tec-

nología en cuanto a los posibles futuros que pueda deparamos y en cuanto a su repercusión sobre los individuos y la sociedad.

6. La tecnología y el ser humano

La interacción del hombre con sus tecnologías ha transformado al mundo y al propio hombre. La prolongación de los sentidos y habilidades naturales del ser humano a través del desarrollo de instrumentos, técnicas y medios de comunicación, ha alterado la naturaleza y la actitud del hombre frente a ella, aunque es a la vez un reflejo de esta actitud. Toda tecnología lleva en sí una parte de la cosmología del hombre, de su visión del Universo, de sus propias facultades, de su raciocinio y de su imaginación. En todas y cada una de las herramientas construidas por el hombre subyace una prolongación del propio hombre; pero la herramienta —prolongación del hombre a través de su tecnología— le refleja sólo de forma imperfecta, distorsiona su imagen y actúa sobre el mundo y sobre la humanidad de maneras bastante diferentes a las que en principio se pretendían, alterando y modificando el mundo de un modo inesperado.

El poder transformador de la tecnología se combina con su mágico poder de fascinación. El versículo del salmo, «Semejantes a ellos serán los que los hacen», alude a este poder. Marshall McLuhan vincula este poder al mito de Narciso. El término "narciso" viene del griego *narcosis,* palabra de la que también se deriva "narcótico", que significa embotamiento y enajenamiento. En su obra *Understanding Media*[7], McLuhan escribe:

«El joven Narciso confundió su propia imagen reflejada en el agua con otra persona. Esta extensión de sí mismo a través de un espejo enajenó su percepción hasta transformarle en el servomecanismo de su propia imagen extendida o repetida. La ninfa Eco intentó ganarse su amor con fragmentos de su propia habla, pero fue en vano. Narciso estaba enajena-

[7] Traducción castellana: *La comprensión de los medios como las extensiones del hombre,* México, Diana. 1969

do. Se había adaptado a la extensión de sí mismo y se había convertido en un sistema hermético.»

Indudablemente, este pasaje encierra una gran parte de la esencia de la tecnología. El espejo de Narciso simboliza todas las tecnologías reflejando al hombre o a ciertos aspectos de sus facultades directamente en una forma externa. Estamos acostumbrados a pensar en la tecnología en términos de maquinaria pesada, de máquinas llenas de ruedas y engranajes, pero la tecnología del chip de silicio no se parece en nada a esta imagen; lo que se ha explicado sobre el mito de Narciso ilustra el hecho de que incluso la superficie del agua de una fuente, un fenómeno natural, puede convertirse en tecnología, en una extensión del hombre. Del mismo modo, una técnica, un procedimiento para hacer algo (quizá contemplar la propia imagen) puede convertirse en una personificación externa de las facultades humanas y en algo equivalente a la tecnología, especialmente cuando se considera de forma absoluta, como algo con entidad propia. Esta cuestión es sugerida también en el texto de McLuhan: el problema no radica en la tecnología en sí, sino en nuestra actitud frente a ella, puesto que a menudo no la reconocemos como lo que es, confundiéndola con algo que es en sí mismo un fin y no un medio para conseguirlo. Narciso se equivoca al interpretar el significado de la imagen que ve en el agua; es un espejo, un medio para verse a sí mismo, y el reflejo no es en absoluto un objeto "real".

El enajenamiento que embarga a Narciso —y que nos da su nombre— es también una reacción general que provoca la tecnología y la técnica. Viajar en un vehículo de motor embota nuestros sentidos, nos impide la percepción de la realidad del paisaje, dejando al viajero exhausto y ensimismado, es decir, enajenado. En cambio, caminar —a no ser que se haga fanáticamente como una técnica considerada como finalidad en sí— quizá fatigue físicamente al viajero, pero la sensación de integración con el mundo queda ampliada, no embotada. Viajar a pie puede ser saludable de un modo en que nunca lo será viajar en coche (tren o avión); la tecnología "droga" al que la utiliza. Narcótico, aparte de significar embotamiento, tiene también la connotación de adicción, y esto

puede ser aplicado también a la tecnología. El usuario de un coche usa el coche en vez de caminar incluso para trayectos de sólo unos cientos de metros. Los medios técnicos para hacer fácil "viajar" inducen a utilizarlos siempre que sea posible, no sólo cuando sea necesario. El telespectador se siente incapaz de apagar el televisor al terminar un programa y tiende a querer ver qué se emite a continuación, al igual que el fumador tiende a fumarse otro cigarrillo. La gente enciende las luces eléctricas simplemente porque están ahí, incluso cuando hay luz natural en abundancia. No es fácil desconectar o dejar a un lado las tecnologías, y esto contribuye a reforzar el embotamiento que provocan.

Narciso nos muestra la imagen mitológica del *hacker*, fascinado con el sistema hasta el punto de obsesionarse, hasta la exclusión de todo lo demás. El enajenamiento que provoca la tecnología fomenta esta obsesión eliminando cualquier otra influencia. El mito puede parecer un caso extremo, al igual que el del *hacker*, hasta que nos detenemos a pensar en todas las tecnologías que utilizamos a diario e imaginamos alternativas para cada una; o hasta que nos planteamos la idea de prescindir de todas ellas. La adicción a nuestra propia extensión en la tecnología es algo más que una pálida sombra de lo que ocurre con Narciso, y la razón de esto nos la sugiere también McLuhan. McLuhan describe la "adicción" en términos de que el usuario de la tecnología se convierte en un servomecanismo de la propia tecnología, adaptándose a la técnica y aislándose por tanto del mundo. El hombre y la tecnología constituyen un caso de simbiosis en este sentido, porque cada uno se alimenta del otro: el hombre inventa la tecnología, desarrolla una extensión de sí mismo y se adapta después al instrumento que ha construido. El servomecanismo de este ciclo impide al usuario volver al sistema antiguo, porque el propio mecanismo de la nueva técnica excluye lo que ha reemplazado. El anillo de realimentación de la tecnología y su utilización puede ser roto sólo mediante una gran fuerza de voluntad. Esta lógica se manifiesta también en el concepto de imperativo tecnológico: la idea de que la tecnología tiene vida propia, de que lo que puede lograr debe ser

logrado. Es el argumento de un Narciso que toma su propia imagen como un fin en sí mismo.

John Biram acuñó un término a propósito de la obsesión del hombre por la tecnología y del malentendido generalizado de que las tecnologías y técnicas no son fines, sino medios. Este término es *tecnosis*. En su libro —que lleva precisamente este título— argumenta que la actitud *tecnótica* puede ser detectada en todo el mundo, y que se halla tan íntimamente relacionada con la vida moderna que toda nuestra cultura sufre de forma crónica esta "enfermedad del pensamiento técnico". La *tecnosis* es una actitud mental —en parte síndrome del *hacker*, en parte complejo de Narciso— que hace que el hombre adore ídolos de oro y plata y que se vaya haciendo semejante a lo que es objeto de su adoración. Los rituales religiosos han sido concebidos, al fin y al cabo, para acercar al hombre a Dios, así que no es de extrañar que los rituales profanos de la técnica ayuden al hombre a aproximarse a un reflejo de su propia imagen; propósito que no parece muy útil para ayudar al hombre espiritualmente —ya que la finalidad es errónea— ni emocionalmente, puesto que los sentimientos están dirigidos hacia una imagen y no hacia algo "real". *Tecnosis* implica falta de realidad; idea que puede parecer extraña cuando nuestra tecnología, nuestro *hardware*, parece ser tan *real*, con tanto predominio en todos los aspectos de nuestro entorno físico. El concepto de *tecnosis* es afín a la noción de Heidegger de "tecnicidad", que W. J. Richardson ha descrito de la siguiente manera: «Es más bien debido a la actitud fundamental del hombre por lo que todos los seres, incluso él mismo, se convierten en materia prima de su propuesta, contrapuesta y (auto)impuesta compartamentalización de todos los seres. La tecnología es simplemente la instrumentalización de esta actitud». La idea de que la tecnología es el *hardware* para que el hombre extienda o prolongue sus actitudes, sus creencias y pensamientos, está presente en todas las opiniones —de McLuhan, Biram y Heidegger— que he reunido aquí. La tecnología refleja al hombre y el propio hombre es re-reflejado por su tecnología.

Esta maraña de descripciones y aplicaciones técnicas también redefine al mundo en sus propios términos. Marshall McLuhan ha

sintetizado esta cualidad, que poseen todas las tecnologías, y que de hecho es una función esencial, en la frase "el medio es el mensaje". El poder transformador de la técnica reside en la misma técnica, no en su contenido. La imprenta supuso un drástico cambio para el mundo medieval, tanto en el pensamiento como en las costumbres y apariencias, a pesar de que la mayoría de la gente no supiera leer ni hubiera visto nunca un libro. Aun así, la imprenta transformó la vida de mucha gente en aquella sociedad medieval, debido a que el medio de la letra impresa, aquella nueva tecnología, cambió las actitudes, alteró las perspectivas; redefinió el mundo. Fue el hecho de imprimir, y no lo que realmente se imprimía, lo que transformó la sociedad; McLuhan tiene razón al decir que también en la actualidad tendemos a ignorar el medio y a ver sólo el contenido. La tecnología que mejor ilustra —aunque esto pueda ser discutible— este punto es la tecnología sin contenido de la luz eléctrica. El contenido es pura iluminación; sin embargo, este medio, esta tecnología, transforma la vida del hombre como individuo y revoluciona la sociedad. Toda tecnología eléctrica es pura tecnología de información, en la cual el contenido carece de importancia. Esto se hace más evidente con la luz eléctrica, pero puede aplicarse también a toda la tecnología de la informática y de las comunicaciones en general.

La luz eléctrica ilumina nuestro entorno físico. La información que esto proporciona procede de nuestra relación con tal entorno. Si estamos utilizando la luz para leer un libro, éste se convierte en el contenido del medio que constituye la luz eléctrica. El libro en sí no tiene que ver con la alteración de nuestra perspectiva, que ha sido provocada por la luz. La falta de significado del contenido se hace más patente cuando encendemos la luz para iluminar un pasillo suficientemente iluminado. Semejante utilización de una tecnología refleja también nuestra torpe dependencia de ella. Cuántas veces nos paramos a pensar: «¿Necesito encender otra luz para ver lo que estoy haciendo?».

Al intentar considerar la indiferencia del contenido en la valoración de las tecnologías eléctricas y de la comunicación, una de las dificultades con que nos tropezamos es precisamente la propia

información que se comunica a través de estos medios. El efecto de la televisión como tecnología está siempre enmascarado por los programas que ofrece. Sin embargo, en realidad los programas carecen de importancia; la tecnología interacciona con el espectador de muchas maneras, independientemente del contenido. La tecnología se interpone entre la persona y las experiencias que normalmente se comparten. Discutir con los amigos el programa de anoche resulta mucho más satisfactorio que haber visto el programa. Lo importante no es la información que uno ha recibido, sino en qué grado ha intervenido la tecnología entre uno mismo y una experiencia natural. Viendo la televisión con los amigos podemos descubrir que, a pesar de que cada persona percibe las mismas imágenes y los mismos sonidos, la experiencia viola la naturaleza del individuo sin llevarle a unirse a otros en una base común de interacción humana, de experiencia compartida. Los *media* eléctricos actúan sobre el sistema nervioso central sumergiendo a las personas en profundos niveles de atención, limitando el enfoque de sus sentidos y enredándolas en una serie de intrincadas redes.

Aunque la invención de la imprenta es considerada frecuentemente como el punto crucial del cambio de la sociedad medieval, Lewis Mumford, en *Technics and Civilization*, sugiere que en realidad la invención del reloj fue mucho más crucial como agente de cambio. El reloj mecánico introdujo una percepción del tiempo lineal, progresiva y secuencial, que sustituyó a la percepción orgánica y cíclica que el hombre había tenido hasta entonces. El reloj transformó la sociedad y sometió a la gente al imperativo del tiempo, a trabajar por reloj, a hacer las cosas cuando el reloj de la iglesia diera las horas o los cuartos y no cuando tenían que hacerse. Como he dicho en mi libro *On Time (A Tiempo)*, la mecanización del tiempo, su supeditación a la tecnología, preparó el camino para la mecanización del lenguaje a través de la imprenta, y para la mecanización del espacio mediante los modernos medios de transporte. Sin embargo, el reloj mecánico, como Weizenbaum señala tan acertadamente, introdujo otro aspecto en la tecnología: la autonomía.

La mayoría de las tecnologías prolongan las facultades humanas. La rueda es una prolongación del pie; el telescopio, del ojo; nuestras ropas son una prolongación de nuestra piel. Estas tecnologías, extensiones del cuerpo humano, podrían clasificarse como *protésicas*, como "miembros y órganos" artificiales. Sin embargo, el reloj no es una prolongación de ninguna facultad humana, si bien nuestro cuerpo responde a varios "relojes" biológicos internos. El reloj es una máquina *autónoma*, automática en cuanto que funciona ella sola sin ayuda, una vez que se le ha dado cuerda, y su funcionamiento es independiente del hombre. El reloj encama un modelo de movimiento planetario para proporcionar elementos de tiempo; no refleja físicamente al hombre en absoluto, ni mide ninguna cualidad física —puesto que el tiempo es inmaterial—, sino que refleja las ideas del hombre. El poder transformador del reloj reside en su autonomía, en su independencia del hombre. Es un espejo que refleja una idea racional.

Lewis Mumford ha escrito que el reloj «desasoció el tiempo de los acontecimientos humanos y contribuyó a fomentar la creencia en un mundo independiente de secuencias que pueden ser medidas matemáticamente», a lo que Weizenbaum añade: «El reloj creó literalmente una nueva realidad... que era, y sigue siendo, una pobre versión de la antigua.» Esta disociación, la abstracción del tiempo de la experiencia humana, es la consecuencia de la autonomía del reloj. El medio es despojado de cualidades humanas, independizado de la naturaleza; así pues, el mensaje es también abstracto, objetivo. Es precisamente esta objetividad lo que empobrece la vida del hombre, rodeando a la sociedad con un armazón que aleja a la gente de su anterior y más íntima relación con la naturaleza. La cuadrícula del tiempo, impuesta mecánicamente, es como un arnés que reduce la riqueza de la vida. Así es cómo, de una manera u otra, actúan todas las tecnologías; el inevitable empobrecimiento que producen debe ser sopesado con las ventajas materiales que conlleva su aceptación. Este empobrecimiento, ese distanciamiento de la naturaleza, surge con todas las tecnologías, aunque parece más poderoso y amplio en el caso del reloj autónomo. Las extensiones o prolongaciones del hombre, precisamente

por ser del hombre, encierran más subjetividad que la máquina abstracta.

Si la primera máquina autónoma fue el reloj, la segunda es el computador. El computador no es un aparato de tipo protésico, no es una extensión del cerebro y, pese al análisis de Marshall McLuhan, no creo que el computador, y su extensión a través de la tecnología electrónica de la comunicación, sea esencialmente una prolongación del sistema nervioso central. Esta última analogía parece bastante plausible, pero implica una equivalencia cerebro/computador que no me parece apropiada, si bien las tecnologías electrónicas actúan sobre el sistema nervioso central. Más que una extensión de las cualidades propias del ser humano, el computador —al igual que el reloj— encierra una noción abstracta, materializa una idea del hombre. El computador está inspirado en la noción de una racionalidad pura, en la visión idealizada que el hombre tiene de su propia inteligencia. El empobrecimiento procede de la limitación de tal visión del hombre, porque la inteligencia es más que pura racionalidad. El poder del computador, al igual que el poder del reloj, se deriva de su independencia del hombre y hace que el hombre, enamorado como Narciso de las imágenes que él mismo ha creado, se redefina en la imagen del computador.

Las tecnologías materializan la concepción que el hombre tiene del mundo y su relación con él, y, así, las máquinas que el hombre construye son símbolos de un mundo recreado por el hombre. Como tales símbolos, son un medio de comunicación; por tanto, todas las máquinas son medios de comunicación, y su forma es su penetrante mensaje. El anonimato del computador —su falta de cara— simboliza la pérdida de la identidad y la fe del hombre; su propio anonimato en un mundo de máquinas, en un mundo que se ha vuelto "tecnótico". La red de tiempo mecánico extendida por el reloj ha sido reforzada y recubierta por una red de canales de información. El reloj hizo que el hombre se transformara de criatura de la naturaleza en señor de la naturaleza. La microtecnología electrónica está transformando al hombre de señor de la naturaleza en esclavo de la máquina autónoma. La invisible red de la información —las misteriosas cajas interconectadas— actúa como

agente del cambio al igual que cualquier otra tecnología; pero mientras que los instrumentos protésicos construyen sus propios sustitutos, el computador autónomo conduce a la sustitución del propio hombre por la máquina que "piensa".

Otra manera de poder comprender la relación entre hombre y máquina consiste en analizar la relación entre la ciencia y la tecnología y su desarrollo histórico. Este punto de vista puede sernos muy útil tanto para valorar el lugar que ocupa la tecnología en la sociedad, como para apreciar el trasfondo del que surge la tecnología de los computadores. La exposición que haremos aquí tiene que estar necesariamente condensada; para ampliar detalles sobre el tema pueden consultarse los libros de historia en general o determinados estudios, como el análisis elaborado por Jacques Ellul. Mi propio análisis se acerca bastante al espíritu de este último autor, en cuanto que situó la tecnología antes que la ciencia en importancia y desarrollo históricos, si bien considero también que en realidad la ciencia y la tecnología no pueden considerarse separadamente, ni independientemente de la sociedad en donde se desarrollan.

Existen muchas definiciones de ciencia, y en casi todas se establece que la ciencia se ocupa de estudiar la naturaleza, distinguiéndola así de la tecnología —o ciencia aplicada—, que se ocupa de controlarla. Por supuesto, los dos aspectos de la investigación, pura y aplicada, están inextricablemente entremezclados; el control exige una serie de conocimientos, y los conocimientos necesarios para el control requieren la existencia de una metodología especial. Un examen más crítico sobre la esencia de la ciencia nos dice que ésta persigue el conocimiento de la naturaleza para controlarla más que para comprenderla. La aplicación de los conocimientos —que es a menudo considerada como algo secundario a su descubrimiento— puede muy bien ser la fuerza motriz de los descubrimientos realizados mediante la utilización del método científico. El planteamiento histórico que presento a continuación pondera este punto de vista: que el moderno saber científico surge principalmente de un deseo de aplicarlo.

La idea de "la ciencia por la ciencia", la idea de que el saber debería ser perseguido sólo porque es intrínsecamente interesante, es una idea moderna, aunque sus raíces se remontan a la Grecia clásica. Con esta idea *in mente* es como suelen considerarse las ciencias y las tecnologías de las antiguas culturas; pero se trata de una perspectiva inadecuada. La ciencia antigua y tradicional no es lo mismo que la ciencia moderna. Aunque "ciencia" significara conocimiento, este término no limitaba su significado a un conocimiento empírico o a un conocimiento cuantificable. Ciencia no significaba únicamente conocimiento del mundo físico y, de hecho, las ciencias tradicionales incluían áreas de pensamiento como la astrología y la alquimia, así como la metalurgia y la medicina. Las antiguas culturas eran culturas orientadas hacia Dios, y el pensamiento —y por tanto las ciencias— se ocupaba en gran parte de los misterios sagrados. Las matemáticas eran entonces la ciencia de los números, aunque estaría más cerca de lo que ahora denominamos numerología. El misterio de los números, sus cualidades, era algo mucho más importante que su manipulación cuantitativa. Así, por ejemplo, el número π (la razón entre la circunferencia y el diámetro de un círculo) no era considerado simplemente como una constante útil en el cálculo geométrico, sino como una cifra sagrada cuyo valor —hasta el punto en que se conocía— era mantenido en secreto por los sacerdotes. Semejante idea puede parecer extravagante e incluso supersticiosa en nuestros días, y esto se debe a que nuestra era no está familiarizada en absoluto con el pensamiento sagrado. La moderna cultura occidental es una cultura secular y juzga las culturas religiosas desde este punto de vista.

Si volvemos la vista a la antigua Babilonia encontraremos una ciencia que estudiaba las posiciones de los planetas. En la antigua China los observatorios reales llevaron un registro de observaciones durante dos mil años, la secuencia más larga de observaciones científicas de la historia de la humanidad. Los chinos registraron los movimientos planetarios, la aparición de cometas, las auroras boreales e incluso las manchas solares, aparte de los fenómenos atmosféricos y meteorológicos. Desde nuestro punto de vista esto

parece evidenciar la existencia de una ciencia en el sentido moderno de la palabra, al igual que el arte japonés de fabricar sables puede parecemos semejante a la moderna metalurgia. Sin embargo, las observaciones chinas y babilonias no estaban dirigidas a intentar descubrir la naturaleza de las estrellas y los planetas —que es el caso de la moderna astronomía—, sino que tenían un carácter eminentemente práctico: aplicar los conocimientos adquiridos a fines astrológicos. Se practicaban las ciencias de la adivinación y la predicción, y ambas eran empleadas para propósitos mundanos: para tomar decisiones políticas, económicas y jurídicas; también se utilizaban con fines religiosos: para comprender los misterios de Dios. Lo que parecía ser una antigua ciencia pura es en realidad una ciencia aplicada y muy práctica.

La antigua Grecia parece ser el lugar en donde se desarrolló una ciencia independiente de la tecnología; ciertamente, los predecesores de Newton y Einstein pueden identificarse con personajes como Hiparco y Demócrito. Quizá el más típico —aunque esto pueda ser discutible— fue Pitágoras y su escuela, que consideraron las matemáticas y la geometría como sistemas místicos. No parece que los griegos desarrollaran ninguna tecnología, a excepción de su arquitectura, que aunaba la ciencia y el arte de la época en una expresión práctica, la construcción de templos: de nuevo un contexto religioso, muy similar en su expresión al de la Europa medieval. En cambio, los romanos, cuya civilización estaba basada en el poder y en el imperialismo, fueron grandes tecnólogos. No existió una ciencia romana propiamente dicha; todos los conocimientos eran de naturaleza práctica, debido a que el imperialismo exige un gran aporte de tecnología. Para mantener un imperio se requiere una compleja infraestructura; los romanos desarrollaron sus tecnologías —sobre todo en el campo de lo que hoy denominamos ingeniería civil— principalmente para poder mantener dicha infraestructura. En contraste con los griegos, que desdeñaban los aspectos prácticos y tenían que importar las técnicas esenciales de Oriente Medio, los romanos despreciaban la intelectualidad pura, y gobernaron un vasto imperio mediante la aplicación de la técnica y la tecnología.

Lo que se nos presenta como ciencia, en el sentido de un interés puro por el estudio de fenómenos, raramente puede encontrarse en culturas que no sean la nuestra, ya que las ciencias de la antigüedad tenían una orientación práctica y servían a las religiones de los pueblos. La ciencia y la tecnología eran consideradas como medios para conseguir un fin, no como fines en sí mismas —que es una forma "tecnótica" de relación entre el hombre y la técnica—, si bien los romanos mostraron una actitud "tecnótica" y, posiblemente, los egipcios también. En cualquier caso, el conocimiento y sus aplicaciones prácticas se hallan íntimamente ligados, y están expresados en la orientación que toman las sociedades en las que aparecen. La metafísica de la sociedad indica el camino a lo largo del cual el conocimiento es buscado y aplicado. Esto, que se manifiesta claramente en otras culturas, es igualmente cierto en nuestra sociedad y en nuestro tiempo. Aunque a menudo se piensa que la ciencia se dirige hacia donde el saber la conduce, esta idea no es más que otra expresión del imperativo tecnológico. El que la ciencia *deba* perseguir sus propios fines no es más que propaganda, y la evidencia de la historia nos demuestra que nunca ha sido así. En otras culturas —y también en un pasado reciente de nuestra sociedad occidental— el saber y su búsqueda estaban determinados por los principios y creencias de cada sociedad. Esto sigue siendo cierto hoy día, incluso cuando el imperativo tecnológico es parte de la expresión de las creencias actuales y los límites existentes en otras culturas y en otros tiempos han sido eliminados en gran parte en la moderna sociedad occidental.

En el siglo XVII, en el oeste y en el norte de Europa, ocurrió algo que cambió el modelo establecido del pensamiento del hombre. Durante unos trescientos años hubo una serie de cambios —como la invención del reloj y la imprenta— que prepararon el camino para que se produjera un cambio radical de perspectiva, que ha llegado a transformar el mundo. En el siglo XVII surge la ciencia moderna, nacida del trabajo de Copérnico y Galileo y que llegó a su florecimiento con Newton. Sin embargo, la ciencia moderna sólo fue una manifestación del cambio, no el cambio en sí. El surgimiento del Humanismo en el Renacimiento o la explora-

ción del mundo por Colón, Magallanes y Vasco da Gama, también son signos del cambio. El ocaso de la magia, el surgimiento del protestantismo, la sustitución del feudalismo por una economía capitalista... todo ocurrió durante aquel tiempo; la relación del hombre con la naturaleza y su actitud hacia la religión alteró completamente su visión del Universo. A partir del siglo XIV la razón empieza a poner más énfasis en una actitud materialista y menos en la espiritual. La exploración del planeta, del mundo físico, sustituye los viajes espirituales internos. El surgimiento de un sistema bancario acentúa el papel que desempeña el dinero, que adquiere un simbolismo diferente. Se produce un cambio en la visión del mundo, pasándose de una vida orgánica, cíclica y ritualista, a otra que se vuelve cada vez más lineal, progresiva y operativa. En Europa Occidental el hombre se distanció de la naturaleza, dejando a un lado la visión simbólica del mundo que conservaron otras culturas. Fue este cambio, de lo sagrado a lo profano, que se manifiesta claramente en el siglo XVII, lo que hizo surgir la moderna tecnología.

La visión del mundo como objeto, más que como símbolo, condujo directamente a la percepción de que el hombre podía manipular el mundo natural; de ahí la máxima de Bacon «el saber es poder». Naturalmente, Bacon se refería al nuevo saber, al potencial científico, y era completamente consciente de los peligros que entrañaba el seguir este camino. El nuevo saber, a pesar de estar disfrazado de "el saber por el saber", estaba esencialmente dirigido a la manipulación, lo que conllevaba una nueva tecnología. El profesor Acquaviva, en su libro *The Decline of the Sacred in Industrial Society (El ocaso de lo sagrado en la sociedad industrial),* escribe el siguiente párrafo: «En los escritos de da Vinci, Bacon y otros, ya estaba implícita la visión de un nuevo mundo, el mundo de la máquina. Existía un deseo de romper la red de simbolismos que parecía distanciar al hombre de la naturaleza real de las cosas» (pág. 106). La actitud simbólica y sagrada se hallaba en fuerte contraste con la posibilidad de mirar la naturaleza como objeto y tomarla literalmente, es decir, desprovista de todo simbo-

lismo; es precisamente esta "literalidad" lo que caracteriza a la época.

El conocimiento alegórico no es "útil", en el sentido de ser operativo, pero el paso de una cosmología alegórica a otra literal permitía que los fenómenos físicos fueran utilizados; pero no del modo natural en que siempre se había hecho —trabajando con y *en* la naturaleza—, sino utilizados en el sentido de explotados, considerando a la naturaleza como una serie de objetos que estaban ahí para ser conquistados. Hacia el tiempo de Newton el punto de vista literal ya se hallaba completamente establecido, y no sólo en la nueva ciencia, sino también en la religión. La revolución protestante que había asolado el norte de Europa era también literal en su enfoque, al considerar la Biblia como fuente de verdades directas. Newton estaba orgulloso de su habilidad para dar una traducción literal de cualquier pasaje de la Biblia, y su interés por establecer una cronología bíblica superaba incluso su interés por los fenómenos físicos. La vinculación entre los orígenes de la ciencia y el surgimiento del protestantismo ha sido ya descrita por muchos autores, y podría decirse que ambos fenómenos comparten una postura "literal", una filosofía materialista.

El cambio de una perspectiva simbólica a otra objetiva dio lugar a una nueva actitud frente a la autoridad y la tradición. Lutero y los reformadores protestantes desafiaron a la autoridad de Roma; los científicos desafiaron la autoridad de todas las tradicionales enseñanzas sobre la naturaleza. El lema adoptado por la Royal Society[8] cuando se fundó en 1662, era: *«Nullius in Verba»*, es decir, «no aceptamos la palabra». La noción del espíritu de libre investigación, que se encuentra en la raíz de la ciencia moderna y de la mayor parte del pensamiento moderno, destaca en contraste con todas las culturas tradicionales, basadas en una tradición y una metafísica incuestionables. La libre investigación implica también ser libre de perseguir cualquier propósito que se desee y, por tanto,

[8] Royal Society of London: Una de las sociedades científicas más antiguas del mundo Fue fundada en 1662 y actualmente sigue organizando conferencias y administrando fondos para la investigación científica. Ser miembro de esta sociedad es uno de los mayores honores a que puede aspirar un científico en Inglaterra.

de explotar la naturaleza, e incluso a los propios semejantes, si con ello se puede conseguir poder, riqueza o simplemente satisfacción. Tanto la motivación del provecho como la racionalización se derivan de esta transformación del viejo mundo.

Si la tecnología moderna fue un producto de este cambio de actitud o fue su causa, es una cuestión discutible e irresoluble. Lo cierto es que la tecnología desempeñó un papel bastante más crucial de lo que generalmente se piensa. La máquina objetiviza y abstrae. El reloj mecanizó el tiempo; la imprenta mecanizó el lenguaje. El camino que condujo a hacer una lectura literal de la naturaleza fue el mismo que condujo al diseño de las máquinas ya en el siglo XVII: la reducción de la esencia de un fenómeno a la pura cantidad. El pensamiento literal es un pensamiento puramente cuantitativo en el que no hay lugar para lo poético, lo alegórico y lo puramente cualitativo. El sociólogo francés G. Simondon escribió:

> «Reduciendo un objeto únicamente a sus dimensiones, la tecnología no reconoce en él ningún significado interno o simbólico, ni ninguna significación que vaya más allá de su utilidad puramente funcional... el objeto es suficiente por sí mismo y no es portador de intenciones. Por esta razón puede decirse que "la tecnología desacraliza el mundo", hasta el punto de que va aprisionando progresivamente al hombre en los meros objetos, sin permitirle vislumbrar una realidad más elevada» (Acquaviva, pág. 140).

En este párrafo se vincula lo cuantitativo con el abandono de lo simbólico y la decadencia de la religiosidad. La abstracción del mundo en lo literal —que crea la noción de la neutralidad de los objetos— actúa como una fuerza hacia la secularización. Ciertamente, la era científica ha venido acompañada de la decadencia de la religión, pero, puesto que surge precisamente de una visión irreligiosa del mundo, esto no resulta sorprendente.

El papel crucial de la tecnología, al menos en cuanto a la aceleración del desarrollo de la ciencia moderna, se pone de manifiesto en todas las "nuevas ciencias". Galileo revolucionó la astronomía con el empleo del telescopio, una nueva tecnología procedente del norte de Europa, y alteró el rumbo de la física estudiando las leyes

del péndulo y desarrollando otras técnicas para la medición precisa de los fenómenos. La astronomía moderna, concebida en base a un nuevo instrumento, fue inaugurada en Inglaterra con el establecimiento de un Observatorio Real dirigido por un astrónomo real. Su meta no era el estudio del cielo, sino descubrir un método fiable para determinar la longitud. La finalidad era práctica: proporcionar una ayuda a la navegación. Fueron "aficionados", como William Herschel, los que tiempo después desarrollaron un interés «puro» por la naturaleza de los cuerpos celestes.

Al igual que la navegación motivó el estudio de la astronomía, las técnicas mineras condujeron al desarrollo de la ciencia de la geología. Las nuevas técnicas agrícolas dieron lugar a la ciencia de la agronomía y la invención de la máquina de vapor dio paso al estudio teórico de la termodinámica. En todos los casos, la ciencia se deriva en principio de la tecnología, aunque después hace surgir nuevas aplicaciones y nuevas tecnologías. Se establece un círculo en el que la "utilidad" es la fuerza motriz. El rey Carlos II de Inglaterra, fundador de la Royal Society, se mostró "graciosamente complacido" con los esfuerzos que se realizaban para determinar la longitud en el mar; en cambio, consideraba que la investigación fundamental que tenía por finalidad medir el peso del aire no era más que una "diversión infantil".

La Revolución Industrial fue una revolución tecnológica, no una revolución científica. Los tecnólogos eran gente práctica: agricultores, propietarios de fábricas, ingenieros. La máquina "sin alma" reemplazó la mano de obra humana y modificó las herramientas de la artesanía tradicional —que poseía sus propios símbolos y rituales— hasta convertirlas en instrumentos de producción en masa. La conquista de la naturaleza significaba también la conquista de la fuerza de trabajo. La máquina sustituyó a la fuerza muscular, y el trabajador se convirtió en un esclavo de la máquina. El rápido crecimiento de la industria tecnológica, el desarrollo de las fábricas, la contaminación, los suburbios industriales y el éxodo del campo hacia las crecientes ciudades —que significaron riqueza para algunos y pobreza para muchos—, provocaron la desacralización de la naturaleza y la deshumanización del hombre.

La máquina mecanizó la fuerza de trabajo, la dirección separó la planificación de la producción, el conocimiento de la habilidad, y, siempre que fue posible, la habilidad fue sustituida por la mecanización. Como David Landes escribió en *The Unbound Prometheus (Prometeo desencadenado):* «La sustitución de la habilidad humana por máquinas, y de la fuerza humana y animal por una fuerza inanimada... trae consigo la transición de la artesanía a la manufactura y con ella el nacimiento de una economía moderna» (pág. 1).

En el siglo XIX se reconoció, al menos en parte, que la ciencia se estaba volviendo cada vez más útil para el perfeccionamiento de la tecnología. El círculo tecnología-ciencia pura-ciencia aplicada se estaba completando; la tecnología estaba siendo impulsada por los esfuerzos de la ciencia. Sin embargo, el sector que se estaba desarrollando era la tecnología industrial, en el que los avances significaban invariablemente perfeccionar la máquina para que emulara mejor la habilidad humana, para que produjera más, más eficazmente y más económicamente. La mejora de las máquinas maximiza los beneficios de su propietario. A pesar de todo, ni siquiera a finales de la época victoriana había muchos científicos profesionales, y los pocos que había se encontraban en universidades o en lugares como la Royal Institution of London[9]. Muchos científicos eran aficionados, clérigos, monjes, pequeños aristócratas... El único factor que alteró esta situación fue la guerra.

Hilary y Steven Rose han llamado a las dos guerras mundiales la Guerra de los químicos y la Guerra de los físicos. La guerra de 1914-1918 estuvo dominada por la industria química y sus investigaciones sobre explosivos y gases venenosos, apoyada por las industrias del metal, del vidrio y de los colorantes. Alemania fue el país más rápido en explotar su propia industria química y en percatarse de la importancia de la ciencia en la producción de armamento. Al final Inglaterra aprendió la lección, pero para entonces muchos de sus jóvenes científicos —junto a la juventud de toda la nación— habían servido de carne de cañón y habían caído en el

[9] Royal Institution: corporación constituida en 1799 para la realización y publicación de investigaciones científicas. Todavía sigue funcionando en la actualidad, aunque su importancia es más bien simbólica.

frente. A pesar de todo, la Primera Guerra Mundial sirvió para profesionalizar la ciencia y demostrar que los científicos podían desempeñar un importante papel en la innovación tecnológica.

La Segunda Guerra Mundial fue sobre todo una guerra de físicos. El radar, la electrónica y, por supuesto, la invención de la bomba atómica se cuentan entre las contribuciones de la ciencia que facilitaron la relación que vinculaba a la ciencia con el ejército. Otro de los frutos de esta alianza es el computador; pero es indudablemente la bomba atómica lo que ilustra más terriblemente la pérdida de la inocencia de la ciencia. Con Hiroshima y Nagasaki la ciencia alcanzó la mayoría de edad, aunque la primacía de la ciencia como punta de lanza en la dominación de la naturaleza por el hombre había comenzado ya trescientos años atrás.

Desde 1945 el poder de la ciencia no ha sido esencialmente desafiado y ha impregnado el mundo entero. Los gobiernos invierten grandes cantidades de dinero en la ciencia y en las investigaciones tecnológicas —sobre todo a través de sus departamentos de defensa—; la ciencia y sus frutos han transformado la vida de una manera muy similar al modo en que la industrialización transformó a Inglaterra en los siglos XVIII y XIX. La difusión de las comunicaciones y de la tecnología militar a nivel mundial ha alterado la relación del hombre con la naturaleza, alejando todavía más a la humanidad del sentimiento de estar "en la naturaleza", y ha fomentado la idea de que el hombre puede crear su propio entorno. La investigación espacial, la conquista de la Luna y la creación de laboratorios espaciales, son una expresión avanzada del deseo del hombre —y de su habilidad a través de la tecnología— de dominar su entorno.

Dos conclusiones se desprenden de esta síntesis histórica: primero, que el poder transformador de la tecnología ha sido un factor esencial en el desarrollo de la ciencia, y no a la inversa. La aplicación del saber ha servido para determinar los conocimientos que deben perseguirse y para llegar a comprender —como lo hace Bacon, por ejemplo— que el tipo de saber que calificamos de moderno y de científico es perseguido *a fin de* "hacer todo lo que sea posible". La segunda es que la tecnología y la ciencia son mol-

deadas por la sociedad en la que se desarrollan, y que existe un importante componente socio-político en la ciencia y en la tecnología que determina su orientación y la filosofía que las guía. La difusión de la ciencia y tecnología modernas refleja y manifiesta el "triunfante" imperialismo secular de Europa y Norteamérica.

Este enfoque histórico implica que la tecnología (y la ciencia) de los últimos trescientos años es de algún modo diferente de las anteriores tecnologías. Creo que esto puede ser verdad hasta cierto punto; para apreciar cómo surge esta diferencia es necesario analizar dos maneras diferentes de concebir la técnica. Me referiré a estos dos tipos de tecnología como tecnología sagrada y tecnología secular. La tecnología sagrada se distingue por ser un medio para la expresión de sentimientos religiosos y por estar destinada a fines religiosos, quizá a la adoración y glorificación de Dios.

Dentro de la tecnología sagrada se dan dos expresiones principales. La primera sería la que se refiere a los instrumentos y herramientas artesanales. Hechas a mano con materiales simples, forjadas por la destreza y el ingenio, estas herramientas solían ser fabricadas por su propio dueño y usuario, aunque se daba también una especialización en herrería, carretería, etc. Las herramientas artesanales eran esencialmente de tipo protésico, extensiones de las manos y los pies, que servían para las artes de la agricultura y la construcción, las artes culinarias, la alfarería y la tejeduría. Estas herramientas son esenciales en los rituales de las artes y tienen un contenido simbólico de especial significado. Actualmente todavía pueden encontrarse vestigios de estas tecnologías en ciertos instrumentos musicales, como los violines, pero en la cultura occidental la mayoría de los instrumentos y herramientas tradicionales han sido relegados a los museos o sustituidos por imitaciones modernas, aunque hay algunos que todavía persisten. Las herramientas artesanales son muestras de la tecnología sagrada expresada a través de los quehaceres mundanos de la vida cotidiana.

La segunda forma de tecnología sagrada es la que se desarrolla especialmente para fines religiosos. Los templos griegos eran obras maestras, no sólo de la técnica de la construcción, sino también del diseño arquitectónico. Las catedrales medievales son

asombrosos ejemplos de la habilidad y el ingenio de sus constructores. El arte iconográfico y el canto gregoriano son técnicas artísticas para mayor gloría de Dios, y pueden encontrarse ejemplos similares en todas las sociedades religiosas de todo el mundo. El tótem de los indios americanos, las danzas de la isla de Bali, el arte estatuario hindú y los templos sintoístas son expresiones religiosas que se manifiestan a través de la tecnología y la técnica. En la mayoría de las culturas tradicionales la tecnología religiosa constituye el más alto grado de desarrollo, mientras que las herramientas artesanales sirven para atender a las necesidades cotidianas.

La tecnología secular, por otra parte, no reconoce más dioses que la eficacia, el progreso y posiblemente el provecho y el poder. Sin embargo, eficacia y progreso no son fines en sí, sino medios para alcanzar fines no especificados. Progreso, ¿hacia qué ideal? ¿Cuál es el efecto buscado? La tecnología secular es un fin en sí misma, y precisamente por esto se vuelve imperialista, anulando y trivializando otras formas de tecnología e incluso sus propios anteriores productos. En el Imperio Romano abundaron los proyectos de ingeniería militar y civil, mientras que las herramientas artesanales quedaban relegadas y degradadas al nivel de los esclavos que las utilizaban. El arte religioso y la arquitectura fueron degenerando en repetición y reproducción, mientras que se desarrollaba una nueva arquitectura de acueductos y coliseos. No parece necesario resaltar el paralelismo existente con la tecnología moderna, excepto para comentar que nuestra tecnología es fundamentalmente militar y que su propagación a todos los rincones de la Tierra no puede ser más que imperialista. En vez de circos tenemos la televisión como entretenimiento de masas, y los esclavos han sido sustituidos por artefactos para ahorrar trabajo. La tecnología secular es una tecnología dedicada a hacer dinero y a conseguir poder, y la difusión de los productos industriales modernos —coches, aviones, aparatos y armamento electrónicos— ha conducido a la concentración del poder y a la acumulación de una enorme riqueza en las manos de unos pocos y a expensas de las masas. La población de los países desarrollados puede ser rica según el estándar mundial, pero sus ricos son todavía más ricos. La tecnología secular es una

tecnología de concentración de poder, y la idea de que los aparatos y máquinas producidos por esta tecnología son algo neutro —simples objetos sin ningún tipo de intencionalidad— es una falsedad.

Las tecnologías, todas las tecnologías, se derivan de un ambiente social, económico, político y cultural. Las herramientas son expresiones de algunos aspectos de las necesidades del hombre, de sus deseos, de sus esperanzas y aspiraciones. Las extensiones o prolongaciones del hombre, al igual que el propio hombre, no son "meros objetos" sino que encierran una subjetividad, que es lo que les ha dado la forma que tienen. La noción de objetividad surge de una abstracción de la realidad, que el reloj lleva a cabo con el tiempo, al igual que el computador con el pensamiento; sin embargo, ni el tiempo ni el pensamiento son objetos "neutrales", independientes de toda cualidad o de su percepción. Ver las herramientas como cosas neutrales es considerar que su uso —su "contenido", según McLuhan— es lo importante e ignorar la esencia misma de las cosas; el medio contiene un mensaje, tiene imbuidas unas intenciones.

Por ejemplo, consideremos una lavadora eléctrica y automática. Una máquina de este tipo puede parecer a la mayoría de las personas de una cultura occidental una cosa desprovista de principios, algo neutral; no es más que un objeto común y corriente. Sin embargo, en manos de un aborigen australiano, o de un bosquimano del Kalahari, no sería más que una pieza de metal inútil. Quizá el armazón les podría servir para algo, pero el resto sería simplemente chatarra. ¿Por qué? Porque la máquina de lavar lleva incorporadas las intenciones de sus constructores y los valores culturales de la sociedad que la ha producido. Para alguien perteneciente a otra cultura —con unas motivaciones bastante diferentes— el objeto no tiene ninguna utilidad. La lavadora lleva imbuidos los valores de una sociedad moderna, industrial y orientada al consumo. La máquina precisa electricidad y un sistema de cañerías y desagües. Depende de una industria de detergentes y de un sistema de transporte e intercambio de dinero, específicos de un determinado trasfondo cultural. Ha sido fabricada con cierta actitud

hacia el trabajo. No es neutral en absoluto; aceptar una máquina de lavar supone aceptar un modo de vida específico, una actitud específica hacia la naturaleza, una actitud específica en cuanto al lugar que ocupa el hombre en el mundo. La tecnología contiene una fuerte carga de valores. Su falta de neutralidad no sólo atañe al bosquimano, sino también a nosotros mismos.

Los argumentos sobre la neutralidad de la ciencia y la tecnología no me parecen más que propaganda para que aceptemos la tecnicidad, para que abracemos la "fe" de la ciencia. Max Black sugiere que éste es un argumento para ocultar la irresponsabilidad moral de la mayoría de los científicos y tecnólogos. Ciertamente, aceptar la proposición de que la ciencia y la tecnología son neutrales, objetivas e independientes de cualquier tipo de postura o actitud metafísica, significa aceptar el imperativo tecnológico y el argumento de que la investigación nos conducirá a donde sea: los caminos que se han abierto deben ser seguidos.

Aceptar la "neutralidad" de la ciencia permite a los científicos trabajar sobre cuestiones "técnicamente interesantes" —como, por ejemplo, el desarrollo de la bomba de hidrógeno— sin considerar la naturaleza y el impacto del producto final. La neutralidad se convierte en una defensa —al igual que el argumento de que es inevitable seguir el camino que la ciencia nos indica— para justificar que los técnicos hagan lo que les parezca interesante; una vez más, los medios se convierten en un fin.

En mi opinión, el argumento de la neutralidad es completamente falso, puesto que se puede demostrar que tanto la ciencia como la tecnología están cargadas de valores. El propio método científico surge de cierta actitud frente al mundo y por tanto está marcado por esta actitud. El trabajo de científicos y tecnólogos se desarrolla dentro de una estructura social y un marco científico determinado. La investigación está dirigida por el entorno intelectual, que a su vez está influenciado por factores económicos, sociales y políticos. Las cuestiones que se plantean y la manera de formular las respuestas son determinadas culturalmente, de modo que el tópico de la neutralidad se convierte en una moderna forma de superstición; en un argumento para justificar el avance del progreso en los cam-

pos de la ciencia y la tecnología, la transformación de los medios en una finalidad.

La falta de neutralidad de la tecnología se manifiesta parcialmente en sus metas, en aquello a que conduce su desarrollo; de este modo los futuros a los que puede conducimos la microtecnología —que ya han sido discutidos en el presente libro— están marcados por las metas de la sociedad que ha producido dicha tecnología; de hecho, la tecnología ha sido concebida para alcanzar esas metas. La no-neutralidad de las máquinas implica que el "progreso" es definido en términos de una serie de valores culturales determinados y que no se trata de algo independiente y objetivo. Sin embargo, la noción de progreso nos es presentada frecuentemente como si estuviera libre de valores culturales; exactamente igual que se nos expone el argumento de la neutralidad. Entonces, el futuro debería ser algo elegido, pero esta elección tendría que ser presentada en términos de factores sociales, no en términos de máquinas. La tecnología debería ser un medio hacia un fin, no un fin en sí misma. Permitir que sea la tecnología la que determine el fin es equivalente a prejuzgar cuál es este fin. Lo que tendría que debatirse es la elección de los fines y la tecnología apropiada para alcanzar el fin escogido. Disfrazar esta cuestión bajo términos como "neutralidad" o "progreso" es confundir la verdadera naturaleza de la tecnología y la propia naturaleza de la cuestión.

Tecnología y hombre se hallan estrechamente vinculados a nivel internacional; son interdependientes. He intentado mostrar aquí de dónde proviene la tecnología moderna; pasaremos ahora a hacer un estudio de cómo continúa la historia con el desarrollo de la tecnología de la informática. El hecho de que las comunicaciones y la tecnología de la información constituyan actualmente el área en donde se producen los mayores avances, debería ser contrastado con el trasfondo constituido por la relación del hombre con sus herramientas y su impacto sobre la vida y el pensamiento humanos. Independientemente de lo próximos que estemos a los últimos aparatos o avances técnicos, no deberíamos deslumbramos y quedar ciegos al hecho de que estamos frente a un espejo, y que podría ser que, como Narciso, quedáramos subyugados por lo que vemos.

7. Los orígenes de la microtecnología

La historia de la tecnología moderna puede ser considerada como una transición gradual, aunque cada vez más acelerada, de lo sagrado a lo secular. Existe algo más que una estrecha correlación entre la decadencia de la religiosidad y el desarrollo de las sociedades industriales, ya que, desde mi punto de vista, este último parte de una visión de la naturaleza esencialmente irreligiosa y secular. Sin embargo, hay otra manera paralela de considerar este cambio que me parece especialmente útil para situar los orígenes de la actual tecnología de la informática y de la microelectrónica: considerar la transición como un desplazamiento de la calidad hacia la cantidad.

La progresiva abstracción del mundo, fomentada por el método científico y su manifestación en la tecnología, se consigue principalmente reduciendo los objetos a números. René Guénon escribe en su libro *The Reign of Quantity (El reino de la cantidad):* «La principal característica del punto de vista (científico) es que trata de reducir todo a cantidades; cualquier cosa que no pueda ser tratada de este modo deja de tenerse en cuenta y es considerada más o menos como inexistente» (pág. 85). Se puede discernir esta tendencia a lo largo de toda la historia de la ciencia, y sus efectos pueden verse en el propio poder transformador de las tecnologías. Mediante la abstracción de una característica general de un fenómeno, no sólo pueden elaborarse poderosas instrucciones para manipular algún aspecto del mundo, sino también obtener una aparentemente profunda visión de la naturaleza de las cosas. La prueba de que estas percepciones profundas de "las leyes de la naturaleza" son válidas es que puedan ser aplicadas y funcionen.

Las teorías científicas, al igual que las tecnologías, también crean dependencia. Reduciendo un fenómeno complejo a sus aspectos cuantitativos es posible extraer leyes de la naturaleza que reflejen las observaciones cuantitativas o datos. El éxito de las

predicciones basadas en estas leyes justifica entonces la exclusión de todo lo que no se da en una forma cuantitativa. Esto nos conduciría al punto de vista de que lo cualitativo es "inútil" y en cierto modo no "real". De ahí que una filosofía que estaba tan sólo implícita se convierte en una filosofía claramente explícita y tome la forma de *reduccionismo científico.*

La ciencia se basa en la reducción de los fenómenos a sus ingredientes básicos. Por ejemplo, en el estudio del movimiento, los ingredientes que se examinan son la masa de los objetos que se mueven, su posición y su velocidad (su cambio de posición con el tiempo). No se juzga necesario incluir otros factores en el análisis del movimiento. El campo queda restringido a aquellos factores que pueden ser cuantificados, tanto analíticamente (por medio del álgebra y la geometría) como numéricamente. Por tanto, la ciencia trabaja reduciendo los fenómenos a determinados factores clave que tendrán una serie de interrelaciones específicas y ordenadas. Para llegar a explicar lo complejo, las cosas son reducidas a sus componentes; pero sólo a los componentes esenciales para una cuantificación cuya finalidad sea la utilización y el control del fenómeno. Así, por ejemplo, aunque el color de los objetos que se mueven puede ser cuantificado, no es un factor necesario para determinar cómo controlar el movimiento.

La ciencia moderna es esencialmente reduccionista en su filosofía, ya que todas sus técnicas tienen por fin la reducción de las cosas al puro número y a los factores esenciales de cara a su utilización; el término "descriptivo", o "cualitativo", casi siempre se emplea en un sentido despectivo. Sin embargo, una ciencia descriptiva —como ha señalado E. F. Schumacher— es una rica y compleja forma potencial de ciencia, en la cual lo cualitativo, lo individual y lo particular no sería sacrificado ante el altar de la cantidad, la uniformidad y la estadística. En una ciencia descriptiva, el color también sería descrito porque, aunque no resulte esencial para una finalidad de control, forma parte del fenómeno que se está describiendo.

El método científico cuantitativo se desarrolló con Galileo, Kepler y Newton; ellos fueron quienes plasmaron las propiedades

generales del movimiento en una serie de leyes científicas específicas, que son, en realidad, una serie de "recetas" o conjuntos de instrucciones para hacer cosas. Así, por ejemplo, la segunda ley del movimiento de Newton, cuya expresión es F = *ma*, significa que será necesaria *F* para acelerar *a* una masa concreta *m*. Ésta es una instrucción bastante general o universal y, por tanto, se considera como una ley de la naturaleza, aunque de hecho no es más que una instrucción basada en la cuantificación del modo en que se mueven las masas al ser aplicada una fuerza.

He descrito la transición del estudio cualitativo al cuantitativo también como un cambio de un enfoque sagrado a uno secular. Puede observarse que los científicos —como Newton— que desempeñaron un papel crucial en esta transición no sólo eran religiosos, sino que creían ver la mano de Dios en la belleza matemática que iban descubriendo. No existía aún el conflicto entre el efecto secularizador del método científico y el distanciamiento de una visión sagrada de la naturaleza. Pero debido a que el método específico —de instrucciones escritas— de la ciencia ha demostrado ser tan efectivo en su aplicación y utilización, debido a que, como Bacon profetizó, el saber es poder, lo cualitativo ha declinado. Los factores no esenciales de los fenómenos no sólo han sido dejados a un lado, sino que han sido desdeñados, olvidados y, en último extremo, incluso negados. Una actitud de este tipo está ligada a un enfoque no religioso, no sólo porque se olvida parte de la obra de Dios, sino también porque precisamente esa parte que se ignora, las características individuales de las cosas, es frecuentemente lo que tiene más significado para los seres humanos. Así, aunque la orientación hacia lo cuantitativo comenzó teniendo a Dios en la mente, Dios pudo ser dejado fácilmente a un lado como otro de los factores no esenciales, y olvidado junto a los demás factores "cualitativos".

En el siglo XIX, después del desarrollo de las máquinas de vapor, de los sistemas de bombeo y de algunos principios fundamentales de la física y la química, las leyes científicas se hicieron estadísticas, reduciendo aún más los fenómenos a puros números. Considerando las cosas como miembros de grupos más amplios

pueden extraerse algunas de sus propiedades generales observando el comportamiento de todo el grupo. Ésta sería la base de la descripción estadística, aunque habría que señalar que puede que ningún miembro del grupo presente individualmente la característica general que se deduce de todo el grupo. Así, por ejemplo, el promedio de edad de un grupo de personas puede ser de 48 años y 3 meses, a pesar de que ningún individuo del grupo tenga esta edad. Las leyes de la estadística funcionan bien, al igual que otras "leyes de la naturaleza", pero estas "leyes" son abstracciones hechas bajo ciertos supuestos y considerando sólo determinados factores seleccionados. Por ejemplo, se presupone que todos los átomos y moléculas de un gas determinado son idénticos; que los sucesos repetibles son similares, pese a que ocurran en diferentes tiempos y lugares, etc. Tales supuestos pueden ser perfectamente razonables, y el hecho de que las leyes estadísticas "funcionan" justifica su adopción, pero de todas formas la estadística consiste en abstraer y cuantificar al máximo las propiedades de las cosas.

El avance de la ciencia podría ser trazado como el avance de un aumento en el reduccionismo cuantitativo. La teoría de la relatividad de Einstein, y especialmente su teoría general, redujo un gran número de fenómenos a simples ecuaciones matemáticas (simples en esencia, aunque sean bastante difíciles de comprender). El desarrollo de la teoría cuántica en los primeros treinta años de nuestro siglo fomentó considerablemente el reduccionismo, preparando el camino para la tecnología de los computadores. Hay dos aspectos de la física cuántica que resultan importantes para nuestra discusión: primero, que sus leyes son estadísticas no a un nivel macroscópico, es decir, a gran escala como las descripciones de la física del siglo XIX que trataban sobre grandes grupos de partículas, sino a un nivel subatómico. Los físicos cuánticos proclaman la supremacía de la cuantificación estadística como base de la realidad física. Segundo, que la física cuántica, como su nombre indica, se ocupa de los cuantos, que no es más que la esencia numérica de las cosas. La premisa en la que se basan las leyes cuánticas es que todo fenómeno físico puede ser reducido a unidades discretas que

pueden ser contadas, de ahí que todo sea reducido a puras cantidades.

Sin embargo, algunos físicos —como, por ejemplo, David Bohm— encuentran que la reducción a la pura cantidad resulta insatisfactoria, y que la pretensión de que la física cuántica es la teoría científica definitiva no es más que uno de los mitos modernos. A pesar de todo, actualmente la idea general —presentada, por ejemplo, en el libro de Peter Atkin, *The Creation*— es que toda la biología (incluyendo la sociología y la psicología) puede reducirse a química, que a su vez puede ser reducida a física, y ésta, a la completamente cuantificada física cuántica. Dentro de esta concepción, todo lo que existe se convierte en pura cantidad, lo que, simplificado al máximo, significa código binario. Y así como la ciencia crea un concepto intelectual, la técnica paralelamente manifiesta los aspectos prácticos de la tendencia hacia una total cuantificación. El computador, basado en datos e instrucciones totalmente cuantificados, sería el análogo de la física cuántica, al operar con unidades de información (o bits) discretas.

La historia de la tecnología puede ser mirada como una serie de pasos que conducen hacia una sustitución de las funciones humanas por equivalentes mecánicos. Las primeras tecnologías, como la de tejer o esculpir (a las que me he referido al tratar de las herramientas artesanales), eran manuales, utilizaban la fuerza muscular del hombre y estaban gobernadas por la mente humana. Estas simples técnicas fueron extendiéndose mediante dispositivos protésicos, como la rueda y el arado, y la fuerza muscular del hombre fue complementada por la fuerza de los animales de tiro. Sin embargo, el arado tirado por bueyes seguía siendo una tecnología sagrada vinculada a una expresión ritualista de la relación del artesano con Dios y con la naturaleza. En la extensión de la mano humana en la azada, y más tarde en el arado, se da una pequeña abstracción. Un labrador que ara un campo tendrá una relación con la tierra diferente que la que tiene el hortelano con su huerta. El carro tirado por caballos altera la percepción de la distancia, del espacio, haciéndola diferente de la que se tiene al caminar. Así pues, incluso las formas de mecanización más simples reducen los

fenómenos en cierto grado, resaltando lo cuantitativo en contraste con lo cualitativo. El arado puede roturar *más* tierra que la azada, y la azada más que las manos desnudas. Es más eficaz. Pese a todo, el imperativo religioso que pesaba sobre la tecnología —la artesanía como ritual— mantuvo la tendencia a la cuantificación dentro de ciertos límites.

Cuando la fuerza muscular dio paso a la fuerza del viento y del agua, la mecanización empezó a apoderarse de la sociedad. El molino de agua o de viento podía realizar más trabajo que el que hasta entonces había sido posible con las herramientas de tracción animal. La invención de la máquina de vapor y la importación a Occidente de la pólvora puso en las manos del hombre herramientas impulsadas por fuentes de energía mecánicas totalmente controlables. Ya no era necesario que la lluvia proporcionara el agua, o que el viento soplara; el vapor y los explosivos podían suministrar la fuerza motriz siempre que fuera conveniente para el hombre. Los vínculos se habían debilitado; el hombre estaba adquiriendo más "control", más poder sobre la naturaleza. Había pasado de tener dominio sobre la naturaleza (o sea, de ser un señor de la naturaleza cariñoso y responsable) a dominar la naturaleza. Podría expresarse este cambio como un "giro" de las connotaciones positivas que posee el término "dominar" a sus significados más negativos. El cambio dio al hombre la sensación de ser independiente de la naturaleza, y esto le permitía desarrollar una tecnología cuantitativa. La mecanización creció con la invención de la máquina de combustión interna y con el desarrollo de la energía eléctrica y, según fueron produciéndose estos cambios, fueron surgiendo nuevas industrias. Según se fue formando la red de una compleja sociedad tecnológica, el trabajo se fue haciendo cada vez más rutinario e incluso automatizado.

La independización de la naturaleza significó también una mayor uniformidad. La gente viajaba más lejos, los sitios empezaron a parecer todos iguales según las líneas férreas y las carreteras iban esparciendo formas repetitivas y monótonas por todo el paisaje. Esta uniformidad, este desarrollo de una cultura de masas, de educación en masa, de movimientos de masas, acompañó al desarrollo

de un pensamiento estadístico, que a su vez había sido generado por la nueva tecnología. La tendencia hacia la cuantificación, hacia la reducción al número, se derivó de la abstracción del hombre de la naturaleza y de su progresivo dominio sobre la naturaleza; un dominio que era posible gracias a la mecanización. La naturaleza se convirtió en algo que podía utilizarse; usarse cada vez más para enriquecer materialmente a la nueva sociedad. La uniformidad sólo era una parte del precio que se pagaba por este aumento de la riqueza; la rápida decadencia de los valores espirituales que acompañó al incremento de beneficios materiales es un factor de coste que nunca se tiene en cuenta en las ecuaciones de los modernos economistas. El hecho de que raramente se señalen estos valores como una carencia de la que adolece la vida moderna es, en sí mismo, una medida de lo mucho que hemos tenido que pagar por una serie de aparentes beneficios.

Peter Marsh ha demostrado que todas las actividades son combinaciones de fuerza, acción y control. Las tecnologías que hemos descrito hasta ahora estaban dirigidas a mecanizar la fuente de energía y la acción —por ejemplo, el movimiento de la piedra de un molino— a que da lugar esta fuerza. En todas las tecnologías artesanales el mecanismo de control era el propio ser humano, pero los orígenes de la ciencia y la tecnología modernas se inician con el reloj mecánico, la primera máquina autocontrolada mecánicamente. Desde la introducción del reloj hasta los verdaderos orígenes de la informática en el siglo XIX, el control de las máquinas fue ejercido exclusivamente por el hombre. Sin embargo, durante el siglo XIX ya se construyeron cintas transportadoras que permitieron la semiautomatización de la producción de galletas, el envasado de carnes y, por último, el surgimiento de la cadena de montaje como concepto de producción. En todos estos casos, la prerrogativa —hasta entonces exclusivamente humana— de ejercer el control fue cedida en parte a las máquinas.

A principios del siglo XIX, un francés llamado Joseph Marie Jacquard construyó un telar controlado por información codificada en tarjetas perforadas. Este particular invento no sólo marcó el curso de la revolución informática aún por venir, sino que supon-

dría un paso significativo en el camino hacia la materialización de una tecnología puramente cuantitativa; una tecnología en la que el hombre ya no detentaba el control ni proporcionaba la fuerza motriz, y en la que se materializaba una concepción abstracta del mundo. El invento de Jacquard sigue siendo la base de los modernos telares automáticos; revolucionó la industria del tejido poniendo el control en las manos de los propietarios de los telares, en vez de en las manos de los propios tejedores, y tuvo un importante papel en el proceso de industrialización del mundo occidental. A modo de nota a pie de página, añadiré que Jacquard participó en la Revolución Francesa luchando del lado de los revolucionarios, presumiblemente apoyando el deseo revolucionario de redefinir la naturaleza y ponerla al servicio del hombre, dejando a un lado todas las tradiciones. La invención del sistema métrico decimal por los franceses fue un paso más hacia una cuantificación abstracta, apartándose del sistema de medidas sagradas, que tenía una base más humana y un carácter cualitativo. Dicho sea de paso, el telar de Jacquard, nacido de un movimiento hacia la democracia, fue una de las primeras tecnologías que contribuyeron a establecer una industria de base capitalista.

El telar de Jacquard fue al menos uno de los factores que influyeron sobre Charles Babbage, que puede ser llamado con todos los derechos el padre de los computadores modernos. Babbage tuvo la idea de que era posible construir una máquina capaz de calcular con toda exactitud cualquier clase de tabla matemática. Su tesis, presentada en 1822 ante la Royal Astronomical Society, llevaba el título de "Observaciones acerca de la aplicación de maquinaria al cómputo de tablas matemáticas", y Babbage acompañó su tesis con la presentación de un modelo —capaz de funcionar— del aparato que proponía. Durante once años, financiado principalmente por subvenciones del gobierno, Babbage se esforzó por hacer realidad su máquina creando un prototipo que funcionase, pero las herramientas y técnicas de la época no proporcionaban la exactitud que requería la fabricación de los innumerables componentes de la máquina. Además, Babbage perdió el interés por su *máquina de diferencias* porque se le había ocurrido una nueva

idea; esta idea es la que dio vida a los computadores como tales. Babbage amplió la idea de una máquina capaz de elaborar tablas matemáticas hasta concebir una máquina que pudiera realizar cualquier clase de cálculo imaginable. Su *máquina analítica*, el primer concepto de computador universal, no llegó nunca a ser construida —a pesar de que se llegaron a fabricar algunos de sus componentes—, pero su diseño era esencialmente como el de un computador actual, con sus unidades de entrada y salida, su "taller de proceso" —según él lo denominó— y una memoria para almacenar datos. Lo que Babbage había concebido e intentaba construir no era sino una máquina en la que una serie de modelos abstractos de la realidad, expresados en términos de cantidades, se materializaban en *hardware* y *software*.

Hoy día es ya bien conocida la historia de Babbage y sus dos amores, la Máquina Analítica y Ada, condesa de Lovelace. El romance tuvo un final triste, ya que Ada murió a la edad de treinta y seis años, cuando la suerte abandonó a Babbage. Ella no sólo le animó en su trabajo, sino que además lo inmortalizó en sus *Notas*, a las que denominó "Observaciones sobre la Máquina Analítica del señor Babbage". Sin estas notas el trabajo de Charles Babbage no hubiera llegado nunca a adquirir la importancia que alcanzó cien años más tarde, ya que el propio Babbage no hizo ninguna anotación sobre su máquina. Las partes que llegó a construir se conservan actualmente en los museos, aunque si no existieran las anotaciones de Ada apenas tendrían significado. La muerte de ella y la incapacidad de él para construir un computador —adelantándose un siglo a su época— hicieron que Babbage muriera en 1871 decepcionado e insatisfecho. Sin embargo, la admiración que despertó su reconocido genio dio lugar a una curiosa parodia de su trabajo y de su propio pensamiento. Babbage no fue meramente un inventor excéntrico, sino un reputado matemático que en un momento dado llegó a ser profesor de matemáticas de la Universidad de Cambridge y miembro de la Royal Society. Cuando murió se extrajo su cerebro para conservarlo en un frasco de cristal; los cirujanos de aquella época deseaban ver si su cerebro presentaba algún síntoma físico de su genio. No se descubrió nada de particu-

lar, pero el cerebro aún puede verse en el museo del Real Colegio de Cirujanos de Londres. Al hombre que había concebido por primera vez una máquina capaz de funcionar como un cerebro sin cuerpo se le extrajo el cerebro de su cuerpo para exhibirlo —al igual que su "taller de proceso" que nunca llegó a "pensar"— en un museo.

Antes de que pasara medio siglo desde la muerte de Babbage ya habían nacido cuatro hombres que harían realidad la idea de un computador universal. Estos hombres fueron Vannevar Bush, Konrad Zuse, Howard Aiken y Alan Turing. Naturalmente, hubo también otros muchos que contribuyeron significativamente, tanto en el campo teórico como en el práctico, al desarrollo de los computadores. Bush amplió hasta el límite las técnicas mecánicas iniciadas por Jacquard y Babbage. El analizador diferencial, que fue construido a principios de la década de los años treinta por el Massachusetts Institute of Technology, a pesar de que funcionaba con electricidad, era esencialmente un aparato mecánico, compuesto por ruedas y engranajes. Fue construido para calcular ecuaciones diferenciales de cara a la resolución de problemas de balística en las pruebas experimentales de armamento. Aunque no era un computador propiamente dicho ni se adaptaba a las especificaciones de Babbage, ni se ceñía a la definición que hemos dado en el capítulo 2, y a pesar de que su notación era decimal y no binaria, esta máquina puede ser considerada como uno de los primeros computadores.

Zuse construyó una máquina que funcionaba con un sistema de notación binaria. Su idea de utilizar simples interruptores para representar dígitos binarios, unida a su ingenio y a sus nuevas técnicas —pioneras en el campo de la ingeniería— hacen de él una figura clave en las décadas de los años treinta y cuarenta. Zuse fue un joven genio. Construyó su primera calculadora, la Z1, en la mesa del cuarto de estar de la casa de sus padres en Alemania. Hacia 1941 ya había construido la Z3, la primera calculadora electromecánica capaz de funcionar. La miopía de la política de subvenciones del gobierno nazi impidió que la calculadora de Zuse fuera suficientemente desarrollada durante la Segunda Guerra

Mundial, aunque finalmente su propia empresa se incorporó al imperio de la Siemens.

Mientras Zuse desarrollaba sus trabajos en Alemania, Howard Aiken, en la Universidad de Harvard, Estados Unidos, había comprendido que un computador totalmente universal era algo conceptualmente diferente de un sistema complejo de máquinas calculadoras como las que se estaban fabricando y vendiendo a las grandes empresas comerciales y a los organismos del gobierno. Con la ayuda financiera de la IBM construyó la máquina que posteriormente seria conocida como Harvard Mark 1. Era una máquina enorme, en parte eléctrica y en parte mecánica, construida por y para la marina de guerra americana, también para calcular las trayectorias balísticas en la construcción de armamento. El Mark 1 fue, ciertamente, la primera máquina que se denominó "cerebro electrónico", aunque esta pretensión de ser el primero no esté del todo justificada.

En Gran Bretaña, trabajando bajo alto secreto, Alan Turing, junto a un equipo de investigación en el que figuraban I. J. Good y Donald Michie, había construido y estaba manejando un computador completamente electrónico llamado Colossus. Esta máquina, en pleno funcionamiento antes de finales de 1943, estaba situada en Bletchley Park y su misión era descifrar las claves secretas que utilizaba la inteligencia militar alemana. Esta última característica —que el Colossus no era un computador de propósito universal, sino que había sido diseñado como máquina electrónica para descifrar claves secretas— es lo que impide que pueda ser considerada como el primer auténtico computador. El Mark 1 se acercaba más al ideal concebido por Babbage. Sin embargo, el Colossus fue, de hecho, el primer computador electrónico, y Turing, cuyo trabajo teórico realizado en los años treinta condujo al desarrollo de esta máquina, está más cerca de ser el sucesor de Babbage que los otros tres investigadores. El proyecto que Babbage había concebido en 1822 llegó finalmente a dar fruto en 1946, cuando el ENIAC fue presentado al mundo. Había sido construido el primer computador completamente electrónico y de propósito general.

El ENIAC fue construido por John Mauchly y J. Presper Eckert, miembros de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Pensilvania (Moore School of Electrical Engineering), y a pesar de que la máquina fue diseñada para el cuerpo de artillería de la marina americana —otra vez para calcular trayectorias balísticas—, podía ser programada para efectuar cualquier tipo de cálculo, si bien reprogramarla suponía ciertas dificultades, porque el programa estaba conectado a la máquina mediante un panel fijo de conexiones y cuadros de interruptores, y para cambiarlo era necesario realizar una considerable reorganización de los componentes. El matemático John Von Neumann colaboró en el proyecto del ENIAC ya desde sus primeros estadios de construcción, y llegó a la conclusión de que las limitaciones de programación podían ser resueltas dando a las instrucciones del programa el mismo tratamiento que a cualquier otro tipo de datos, reduciéndolas a números y almacenándolas en la memoria interna de la máquina. Esta idea, que otorgaba la máxima flexibilidad al diseño de computadores, fue tenida en cuenta en el diseño del segundo computador de la Escuela Moore de la Universidad de Pensilvania, el EDVAC, que nunca llegó a construirse por completo, ya que Eckert y Mauchly abandonaron el proyecto para fundar su propia compañía. La idea fue puesta en práctica en su máquina BINAC, que apareció en 1950, aunque para entonces Kilbum y Williams ya habían incorporado el almacenamiento de programas en el Mark 1 de Manchester, al igual que Maurice Wilkes en su máquina EDSAC, en Cambridge.

Von Neumann, cuyo interés y cuya labor le llevaron a desempeñar un papel clave en el desarrollo de la bomba de hidrógeno, comprendió que para desarrollar cualquier investigación avanzada de física nuclear aplicada, el computador resultaba esencial. El ENIAC, a pesar de haber sido utilizado durante diez años por la armada americana, no llegaba a satisfacer sus exigencias, y así fue como este científico colaboró en la elaboración de la base matemática para un computador gigantesco que fue construido en Princeton. Resulta interesante observar que la máquina de Princeton fue copiada en Los Álamos para el proyecto de la bomba atómica, y

que Von Neumann llegó a sugerir que a esta última máquina se la llamara MANIAC.

A partir de entonces se construyeron cada vez más computadores. La primera máquina que se empleó en el comercio fue LEO, fabricada para la Lyons Teashop Company de Londres; y en Estados Unidos, gigantescas compañías, como la IBM, la Sperry Rand y la Bell Telephone, se introdujeron en el campo de los computadores. Las máquinas perdieron en cierto modo el toque personal que los primeros pioneros habían dado a sus proyectos, aunque —como Tracy Kidder demuestra en su libro *The soul of a new machine (El alma de una nueva máquina*[10]), en el que seguía el desarrollo de un nuevo minicomputador de la compañía Data General— el proceso de construcción de un computador moderno todavía puede ocultar una historia humana apasionante.

Por tanto, puede decirse que los orígenes de la tecnología se remontan a Babbage, que acuñó el concepto de la máquina computadora universal. En una época histórica en la que se estaba produciendo un drástico aumento de la cuantificación del mundo, Babbage vino a sumarse a esta tendencia conjurando la idea de una máquina capaz de "pensar" y convirtiendo el pensamiento del hombre y su capacidad lógica en una serie de números con los que la máquina podía operar. Pero, como señala Ada en sus anotaciones, todavía seguían existiendo limitaciones. La Máquina Analítica sería capaz de hacer lo que se le pidiera siempre que fuera algo que se le pudiera programar, pero no podía "crear", no podía tener "ninguna pretensión de *originar nada*", como escribió la propia Ada (el subrayado es suyo). Al llegar a la época de Turing, a mediados del siglo XX —su artículo "Computing machinery and intelligence" (Maquinaria informática e inteligencia) se publicó en 1950—, ya había desaparecido este tipo de restricciones. Turing no sólo llegó a sugerir que podían construirse máquinas capaces de "aprender", sino que llega a proponer una "máquina-niño" que, siendo análoga a un niño, tendría que ser programada para aprender como los niños, tanto mediante un sistema de enseñanza como

[10] Compartido en http://www.exvagos1.com *(N. de Sargont).*

por propia experiencia. Su ambición era poder llegar a ver máquinas capaces de «competir con el hombre en todos los campos netamente intelectuales», lo que preveía que tendría lugar hacia finales del siglo XX.

Merece la pena citar a Turing para ilustrar su particular estilo de pensamiento:

«En lugar de tratar de producir un programa que simule una mente adulta, ¿por qué no producir uno que simule la mente de un niño? Sometiéndolo a una educación apropiada podríamos obtener un cerebro adulto. Presumiblemente, el cerebro infantil es de alguna manera semejante a una libreta de notas de las que podemos comprar en la papelería. Apenas hay mecanismo, pero hay un montón de hojas en blanco. (Y desde nuestro punto de vista, mecanismo y escritura son casi sinónimos.) Esperamos que haya tan poco mecanismo en el cerebro de un niño que algo semejante resulte ser fácilmente programable. En una primera aproximación, podemos presuponer que la cantidad de trabajo que tengamos que emplear en el proceso de educación sería más o menos la misma que la que costaría educar a un niño de carne y hueso.»

Y prosigue:

«No podemos esperar encontrar una buena máquina-niño al primer intento. Deberíamos experimentar enseñando a una de estas máquinas y ver qué tal aprende. Después podríamos intentarlo con otra y observar si lo hace mejor o peor. Existe una conexión obvia entre este proceso y el de la evolución.»

Este pasaje ilustra la actitud reduccionista frente al hombre y frente al pensamiento humano, en el sentido de que lo único que se ve en la vida humana son datos —que pueden ser cuantificados— y mecanismos para manejar esos datos. Ver el cerebro de un niño, y por tanto su mente, como algo parecido a una libreta de notas podría tolerarse como un tipo particular de alegoría, pero tratar luego de hacer una réplica del niño, y después del adulto, utilizando este símil es ya puro reduccionismo. Y lo que es más, Turing muestra también una actitud frente a la naturaleza que compendia esta misma manera de pensar en relación con el dominio sobre la naturaleza. Sugiere que mediante la experimentación con varios

modelos de máquina-niño se podría simular el proceso natural de la evolución, creando cierta clase de especies. Norman Moss llamó a los constructores de la bomba de hidrógeno "hombres que juegan a ser Dios"; y la misma mentalidad, en la misma época histórica, se manifiesta aquí explícitamente, aunque revestida de una aparente inocencia. Lo que se persigue es la supremacía del hombre, pero no del hombre como ser humano, sino del hombre-máquina.

La actitud reduccionista, la reducción de toda la existencia a simples números y, lo que es más, la reducción de todos los números a meramente uno y cero —algo y nada— puede parecer una exageración; sin embargo, está plasmada en los aparatos e instrumentos que nos rodean cada vez más en el *hardware* y el *software* de la tecnología de la informática. La cuantificación sin límite se convierte en algo extremo precisamente por dejar a un lado tantas cosas.

Si consideramos que la madre de la tecnología de los computadores procede de la filosofía reduccionista, el ejército y la industria capitalista fueron ciertamente comadronas en este parto. El Harvard Mark 1, el Colossus y el ENIAC fueron construidos para fines bélicos, y la mentalidad de los estrategas militares, que miran a las personas como piezas vivas o muertas que hay que contar en términos de mega-muertes, encaja perfectamente con la mentalidad del hombre de "genio" que fabrica una máquina cuya finalidad es ayudar a matar a la gente con más eficacia. Las armas están diseñadas para matar a la gente, ésa es precisamente su finalidad, y pensar *a posteriori* que no se esperaba que tales armas fueran utilizadas no es excusa. En la época victoriana la actitud frente a la herencia genética se expresaba diciendo de una mala persona que "tenía mala sangre". El computador ha nacido con "mala sangre" y, puesto que su desarrollo sigue estrechamente vinculado a lo militar, no puede aceptarse el argumento de que ha trascendido sus orígenes. El simbolismo de los acontecimientos es muy fuerte y significativo; por tanto, no se puede admitir que los orígenes de la informática son algo interesante desde el punto de vista técnico, y neutro desde el punto de vista moral. El simbolismo de la denominación MANIAC, así como el de las siglas de la política de la

OTAN, MAD[11] (Mutually Assured Destruction = Destrucción mutuamente asegurada), es mucho más que un chiste; es la verdadera expresión de la realidad del asunto.

Aliadas al complejo militar están las gigantescas industrias capitalistas, cuya escala multinacional escapa al control de la mayoría de los gobiernos nacionales. Los nuevos imperios son de carácter comercial, y el computador es algo crucial para su funcionamiento y también como producto suyo. La ironía del movimiento moderno para escapar de la tiranía personal de los señores feudales buscando la democracia, la libertad y la igualdad, reside en que el capitalismo que reemplazó al feudalismo concentra el poder todavía en menos manos que su despótico predecesor. Hoy día, gran parte del mundo se halla bajo la influencia de unos cuantos anónimos señores de la industria que han sido votados tan sólo por sus accionistas, y cuyos intereses son primeramente los suyos propios y, luego, los intereses públicos en tanto sirvan a los de su empresa. En los países comunistas, las industrias tecnológicas basadas en un empleo intensivo de capital sirven a los intereses del Estado más que las empresas capitalistas, pero el efecto es el mismo. A pesar de la diferencia de sus políticas superficiales, la dirección de todos los países desarrollados está firmemente fundamentada sobre su base tecnológica, y se dirigen hacia un materialismo y una secularización cada vez mayores. En la URSS y en Estados Unidos la religión sigue prosperando sólo para ciertas minorías que son toleradas en diferentes grados por la tecnocracia. La red de poder construida por las corporaciones interconectadas ha sido posible gracias a las tecnologías eléctrica y electrónica. Como dice McLuhan, los medios eléctricos extienden el sistema nervioso, y la red de *media* electrónicos que rodea el globo ha utilizado este aspecto de la prolongación del hombre para crear una dependencia de la gente del mundo de los grandes negocios. Los intentos de romper esa red, de buscar tecnologías alternativas o de ir hacia lo natural, son aplastados por el poder de los grandes consorcios internacionales.

[11] MAD significa en inglés loco, insensato.

Parece existir una conspiración implícita entre los gobiernos y el complejo militar/industrial para reforzar todavía más su dominio sobre el mundo mediante el rápido desarrollo de todos los avances tecnológicos posibles. En este sentido, las dos tecnologías más poderosas son la de la televisión y la de los computadores, ambas surgidas durante la década de los años treinta. También ambas redefinen el mundo en términos irreales; una, presentando imágenes seleccionadas de las cosas y proclamando que son imágenes "reales", extrayendo así de la rica experiencia de la realidad tan sólo aquellos ingredientes que atraen poderosamente nuestra atención; la otra redefine el mundo reduciéndolo a números. La motivación es obtener un completo control sobre el mundo. La idea de establecer una colonia en el espacio es una de las metas actuales que indican ese afán de llegar a poseer un total control sobre el entorno. El respaldo intelectual para este tipo de proyectos es la ciencia que acompaña a la tecnología, que es el instrumento utilizado para alcanzar el fin. La filosofía es el reduccionismo y, finalmente, el nihilismo, puesto que en último término el reduccionismo reduce todo a la nada. Es una total secularización del mundo, haciendo desaparecer a Dios de todas partes hasta que en su lugar no haya otra cosa que lo que el hombre haya querido seleccionar.

La desolación y el rigor de este punto de vista sobre el origen y la orientación de la microtecnología suelen ser contrastados con la idea de que la nueva tecnología, al ser flexible, permite la existencia de diferencias individuales, y al ser "blanda" más que "dura" puede orientamos hacia una dirección completamente nueva. Así, por ejemplo, Margaret Boden, en su erudito trabajo titulado *Artificial Intelligence and Natural Man* concluye diciendo: «...El principal significado metafísico de la inteligencia artificial es que puede *contrarrestar* la sutil influencia deshumanizadora de la ciencia natural, de la que tantos críticos de la cultura se han lamentado.» Lo que no se aprecia aquí con suficiente claridad, por lo que yo puedo ver, es que las nuevas, flexibles y "blandas" tecnologías no constituyen un punto de partida, sino una sutil extensión de lo mismo. El enfoque puede que ya no sea mecanicista, pero es toda-

vía reduccionista y todavía surge de la misma mentalidad que empezó por conducimos a un camino mecanicista. El reconocimiento de que la nueva tecnología no es más que la antigua extendida y disfrazada con nuevos ropajes nos capacita para no escoger ninguna de las dos opciones que nos ofrecen Christopher Evans o Margaret Boden. Evans, evocando la película *Things to Come*, nos presenta una alternativa entre tomar el camino del conocimiento que la ciencia abre ante nosotros, adonde quiera que éste nos conduzca (nótese que el camino de la ciencia nos es presentado como un fin en sí mismo), o "vivir con los insectos en el barro". La alternativa de Margaret Boden es similar, aunque menos pintoresca. Y nos dice: «Tendremos que negar nuestra humanidad, con resultados socialmente destructivos, o renunciar a una comprensión científica del mundo en general y de la gente en particular.» Dicho así, parece ser que no nos queda otra opción que seguir a la ciencia y a la tecnología a donde quiera que nos conduzcan (o adonde quiera conducimos el complejo militar/industrial). Pero estas alternativas tan radicales no son más que propaganda del imperativo tecnológico. Existen, claro está, otras alternativas en las que no hay por qué renunciar a nuestra humanidad ni seguir el camino de una tecnología nacida de la guerra y cuya finalidad es desarrollar máquinas que sustituyan a las personas.

Como veremos en el capítulo 9, las tecnologías "blandas" y flexibles son capaces de ejercer un control sobre la sociedad mucho más amplio que las rígidas tecnologías mecanicistas. La sutileza de su táctica puede hacemos caer en la trampa como en una tela de araña. Los orígenes de la tecnología de la informática surgen de una actitud frente al mundo que intenta reducir todo a números; en capítulos anteriores ya hemos mostrado cómo se lleva esto a la práctica en los computadores. También hemos considerado el vínculo existente entre la tecnología de la informática y la tecnología y la ciencia en general. La base de la tecnología reside en la sociedad materialista occidental, y las conjeturas que hemos hecho sobre el futuro conducen a esta sociedad a un materialismo puro. A continuación pasaremos a considerar los efectos que tiene actualmente la tecnología sobre nuestra sociedad y sobre el indivi-

duo, aunque en realidad estos efectos se derivan de los orígenes de la tecnología. En el espejo tecnológico de nuestra era se refleja la imagen del MANIAC.

8. Computadores y trabajo

El mundo está siendo redefinido en términos de información. Hay una explosión de la información, que se debe en parte a la aceleración de una serie de procesos cuyo origen se remonta hasta las causas de la Revolución Industrial (a pesar de que algunos autores consideran que los orígenes se remontan a los comienzos de la historia de nuestro planeta), y en parte a la tecnología que procesa información y que, por tanto, transforma las cosas en más información. En cuanto a esto último, hemos visto ya cómo una máquina universal para el tratamiento de la información, especialmente cuando se ha reducido su coste y su tamaño, es capaz de transformar cualquier otra máquina o proceso en otro más potente y flexible que concierne fundamentalmente a la información. La máquina-herramienta controlada por un microprocesador procesa la información de una idea para llegar a su realización. El producto no es lo que importa verdaderamente; lo que cuenta es la información, su flujo y su amplificación. De este modo, cualquier proceso de producción o de servicio puede transformarse en principio en sistemas de información. El ímpetu cada vez más acelerado de la tecnología tiene como resultado una explosión de información.

El incremento de la información a lo largo de la historia puede constatarse visualmente en las bibliotecas académicas, en donde el espacio que ocupan en las estanterías las revistas especializadas va aumentando de año en año. En 1930, el volumen que reunía toda la publicación anual de una determinada revista podía alcanzar un grosor entre unos cinco y ocho centímetros; en cambio, la encuadernación de toda la serie de ediciones de 1970 de esta misma revista podría llegar a ocupar hasta medio metro. Sin embargo, la información es algo más que una mera acumulación de libros y revistas en las estanterías de las bibliotecas, y presenta muy diversas formas: resultados del tratamiento de la información por los computadores *(output),* periódicos, radiodifusión, telecomunica-

ciones, servicios postales, enseñanza, gobierno, operaciones comerciales e industriales, contabilidad, valores bursátiles, transportes... la lista sería interminable. En todos aquellos campos en donde la información es un "producto" esencial su volumen aumenta continuamente.

La Revolución Industrial no sólo fue consecuencia de la nueva tecnología de la época, sino también del desarrollo del comercio y las transacciones económicas, y del aumento de la importancia de la información. Lo que ocurrió en esta revolución fue que la fuerza muscular y determinadas habilidades humanas fueron sustituidas por máquinas, haciendo surgir una nueva economía que estaba basada en la información. La concentración del poder en las manos de los industriales se produjo a través de una desvinculación de la información —que era asunto de la dirección— de las cualidades de la mano de obra y de su habilidad para controlar las máquinas. Como Juan Rada escribe en *El impacto de la microelectrónica*, «este desarrollo estaba de acuerdo con la tendencia mucho más profunda del capital a volverse lo más independiente posible de los factores humanos que condicionaban su reproducción» (pág. 8). Una economía orientada hacia un continuo crecimiento puede alcanzar más fácilmente sus metas cuando la información es el recurso principal, ya que es un recurso inagotable que puede seguir aumentando de valor cuanto más intensa sea su circulación. De todo esto podríamos concluir que la explosión de la información puede ser explicada como la rápida aceleración de la tendencia de las economías modernas hacia el crecimiento. La tecnología moderna contribuye a este fin reemplazando casi completamente las habilidades humanas, liberando a las fuerzas que generan la riqueza de las restricciones que suponen la falibilidad, fragilidad e inseguridad humanas. Es indudable que este último estadio del desarrollo tecnológico representa un giro decisivo; tanto es así, que muchos observadores lo relacionan con el propio proceso de evolución biológica.

La aparición del hombre en la Tierra ha sido relacionada con la propiedad del cerebro de los mamíferos de poder almacenar más información que la que contienen sus genes. El hombre surge,

según esta imagen de la evolución, como un animal procesador de información (y comentaré más ampliamente este tema en el último capítulo). Así, la invención de la escritura permitió al hombre almacenar en los libros más información que la que podía retener en su cerebro y, por último, la microtecnología permite que la "inteligencia" sea almacenada y ampliada de forma artificial, independiente del hombre y exterior a él. Desde esta óptica, el cerebro ha superado a los genes, las bibliotecas al cerebro y, finalmente, el computador supera a las bibliotecas. Así expuesto, esto puede parecer una secuencia ingenua y bastante simplista, pero hay en ella dos puntos interesantes. Primero, la escala de tiempo en la que se dan los diferentes estadios de la secuencia dramatiza el carácter explosivo del aumento de la información presentando avances que tardaron millones de años, miles de años, cientos de años y, por último, decenas de años en producirse. Además, la secuencia revela una tendencia a la abstracción en aquellos que proponen tales ideas. Volveremos a ocupamos de este vínculo entre la tecnología de la informática y el progreso de la evolución cuando consideremos la inteligencia artificial en el capítulo 10. Con un enfoque que no se diferencia mucho de éste, Daniel Bell ha esbozado cuatro estadios en el progreso hacia una sociedad de la información: el lenguaje, la escritura, la imprenta y las telecomunicaciones. También aquí, cada nuevo estadio es una mayor abstracción del anterior.

Lo que es indudable es que los nuevos medios para el almacenamiento y recuperación de datos y para el tratamiento de la información están transformando las actividades comerciales, gubernamentales e industriales y, por tanto, la sociedad misma. Las imágenes proyectadas de las sociedades del ocio, las oficinas sin papeles, o los bancos sin dinero en efectivo no son más que escenarios en los que se moverá la tan frecuentemente discutida "nueva" sociedad, que se espera que surja como movimiento de los países desarrollados hacia una fase de desarrollo postindustrial. Esto significa, naturalmente, que mientras que la industrialización dio la mayor importancia a los productos, en la "nueva" sociedad el recurso clave y esencial será la información. El desarrollo de los

computadores y de las redes de información ha significado que las industrias de la información se extiendan por todo el mundo, y habría que considerar cuidadosamente su impacto, puesto que cada vez más empresas están siendo convertidas en negocios de información. Se trata de una revolución, que se está produciendo a una escala sin precedentes y que sólo se está empezando a dejar sentir. En Europa, la transmisión de datos se ha multiplicado por doce en el transcurso de los diez últimos años. Más de la mitad del producto nacional bruto de Estados Unidos procede de la industria de la información. Estos datos, por crudos que sean, reflejan la tendencia actual; la información es el recurso esencial de la nueva sociedad que se está configurando.

El impacto de estos cambios se siente más abruptamente en el efecto de las nuevas tecnologías sobre el nivel de empleo y sobre la naturaleza del trabajo, aunque las repercusiones se aprecian en todo el tejido social. En el próximo capítulo consideraremos los efectos sociales más generales que se derivan del flujo y control de la información y de la dependencia social que provocan; ahora nos detendremos a examinar el impacto de los computadores sobre el mundo del trabajo, que está causado por la transformación de todas las máquinas en procesadores de información.

Cualquier discusión o predicción sobre los efectos de la microtecnología en el nivel de empleo ha de estar siempre precedida de una advertencia que resalte su carácter especulativo e incierto; y es correcto que se haga esta advertencia porque en realidad sólo disponemos de los primeros indicios de futuras tendencias, y los factores que afectan al empleo son numerosos y muy complejos. El hecho de que en los países desarrollados el desempleo sea elevado y todavía (en el momento de escribir estas líneas) siga creciendo, no sólo se debe a la nueva tecnología. Durante toda la última década se ha experimentado una recesión, y la sociedad ha tenido que adaptarse a los nuevos modelos de transacción comercial, a los efectos del control de los precios del petróleo y de otros recursos, y al cambiante equilibrio del sistema monetario mundial. Es prácticamente imposible aislar los factores individuales que conducen a una variación en las estadísticas de empleo; tan sólo podemos

permitimos intentar discernir las tendencias y expresar nuestras sospechas. Por tanto, yo también he de advertir que las predicciones que hago y la elaboración de lo que parecen ser esquemas para el futuro se basan en mis propias especulaciones sobre lo que nos deparará el porvenir. De todos modos, he intentado basar mis opiniones en datos actuales y fundamentar mis especulaciones sobre una base teórica lo más sólida posible. Esta base teórica es la noción —ya descrita anteriormente— de que la tecnología se deriva de una particular actitud frente al mundo estrechamente vinculada al tipo de economía de los países desarrollados, o sea, al capitalismo; y tanto al capitalismo competitivo de mercado, cuya máxima expresión se da en Estados Unidos y Japón, como al capitalismo de Estado según se practica en los países del Telón de acero. Estas economías se basan en una tecnología que separa la información de la habilidad y que exige una mano de obra bien controlada o su sustitución por máquinas más fiables; puede decirse entonces que las nuevas tecnologías permiten ejercer un control tecnocrático más efectivo y que ofrecen otros medios para reemplazar el "factor humano" en el proceso de generar riqueza. La tecnología no es neutral, por tanto sus efectos pueden predecirse (aunque quizá sin mucha seguridad) en base a lo que representa en realidad. Ésta es la línea que sigo en mis planteamientos.

En la industria, la introducción de los microprocesadores, los robots y la automatización afecta de varios modos tanto a los productos como al propio proceso de producción. Los productos son mejorados o transformados, creándose nuevos productos. Ejemplos de esto serían los coches controlados por un microprocesador, lo que mejora sus prestaciones y su seguridad; el reloj digital, que ha transformado la industria relojera; y las calculadoras y juegos electrónicos, que han abierto mercados completamente nuevos. Las tareas más arriesgadas y los trabajos que han de desarrollarse en un entorno peligroso pueden ser realizados por robots, liberando al trabajador de condiciones que amenazan su salud y su vida. Las tareas monótonas y repetitivas, a las que se suele calificar de estúpidas, pueden ser llevadas a cabo por las máquinas, de modo que los trabajos destinados al hombre serán más limpios, seguros e

interesantes. El control por computador puede mejorar la eficacia de la dirección, reducir las pérdidas de energía, controlar la contaminación impidiendo que se alcance un nivel inaceptable, y contribuir —de diferentes maneras— a elevar la productividad. Sin embargo, todas estas ventajas se obtendrán a costa de algunos puestos de trabajo.

La automatización implica siempre cierta reducción de la mano de obra. No se instala una nueva tecnología sólo por razones puramente técnicas, sino casi siempre por motivos económicos. La máquina es capaz de producir más, y con más seguridad, que los hombres a los que sustituye. Es precisamente cuando el coste de la máquina llega a ser igual al de la mano de obra a la que puede sustituir, cuando empieza a ser atractiva para la industria. La creciente productividad de las fábricas basadas en capital intensivo y en las nuevas tecnologías las hace más competitivas que las antiguas empresas mecanizadas, estimulando, por tanto, una mayor automatización y un aumento de la pérdida de puestos de trabajo. Ésta es la tendencia. Además, las empresas más pequeñas no disponen de los fondos necesarios para efectuar la inversión de capital, con lo que pierden el margen de competitividad y caen en la bancarrota al cabo del tiempo, causando aún más pérdidas de puestos de trabajo. El puesto que ocupaban en el mercado cae en manos de las empresas automatizadas que utilizan alta tecnología y que, por tanto, no precisan emplear más mano de obra para elevar todavía más su productividad; de este modo los empleos se pierden definitivamente, al menos en este sector de la industria. Desgraciadamente, esta tendencia va afectando cada vez a más sectores de la industria en general. Un ejemplo clásico de este proceso es la industria relojera.

Tradicionalmente, la fabricación de relojes mecánicos, de pared o de pulsera, era casi una industria casera, con cientos de pequeñas empresas y artesanos que fabricaban las diferentes piezas, las montaban, realizaban el acabado, decoraban, etc. La industria relojera estaba basada en la artesanía y en el trabajo. La comercialización se realizaba principalmente a través de las joyerías, y se consideraba que los relojes eran productos de calidad. La introduc-

ción de los relojes electrónicos en Estados Unidos y en Japón afectó considerablemente a la industria relojera de Suiza y Alemania. La resistencia a adoptar nuevas tecnologías y sistemas de comercialización y nuevos métodos de producción significó que entre 1970 y 1977 la industria relojera suiza perdiera la mitad de su participación en el mercado mundial y tuviera que reducir su mano de obra en un 40%. En este mismo período de tiempo la industria relojera de la República Federal Alemana perdió 14.000 puestos de trabajo, lo que supone un 44% del número total de empleados. Esta tendencia ha seguido desarrollándose a lo largo de la década de los ochenta según ha ido aumentando la proporción de relojes digitales, que ha llegado a representar hasta el 60% del mercado mundial. La decadencia de la industria relojera continúa, aunque no de una forma tan espectacular como en los años setenta. Además, como los relojes producidos con las nuevas tecnologías son comercializados masivamente a través de cadenas de almacenes, venta por correspondencia y tiendas de aparatos electrónicos, más que a través de las tradicionales joyerías, su impacto no sólo ha afectado a los fabricantes sino también a los detallistas de este sector.

Si la industria relojera tradicional es un ejemplo de cómo la falta de adaptación a las nuevas tecnologías tiene como resultado una pérdida considerable de puestos de trabajo y de participación en el mercado, la industria del automóvil ilustra cómo la automatización total del proceso de producción conduce también a una reducción del número de empleados. La fábrica Robogate de la Fiat, en la que se fabrican coches sin la intervención de la mano del hombre, está diseñada para poder soldar una carrocería de coche por minuto. Un computador central controla la manipulación de los componentes, su transporte hasta los robots que se encargan de ensamblarlos y soldarlos, las pruebas de control de calidad, etc. El sistema es capaz de trabajar con dos diferentes modelos de coche al mismo tiempo y, mediante un cambio de programa, es posible ampliar la gama de modelos que se podrían construir en la misma cadena de montaje.

Ya se emplean robots industriales en la fabricación de coches en Suiza, Alemania, Francia y Gran Bretaña, así como en Japón y Estados Unidos. De hecho, en Japón se están utilizando unos 30.000 robots sólo en la fabricación de coches. Se estima que el coste efectivo de estas máquinas equivale a la mitad del coste de la mano de obra, y algunas estimaciones pronostican que hacia 1990 entre un 5 y un 10% de la mano de obra de la industria de la producción habrá sido reemplazada por robots. El efecto de la automatización en la industria del automóvil es aumentar la competitividad en un sector que ya de por sí es muy competitivo. El precio de los coches tiene que mantenerse a un nivel mínimo para poder conservar una participación en el mercado. La industria automovilística británica ha declinado durante la última década debido en parte a la feroz competencia de otros fabricantes de coches europeos y japoneses, cuyas inversiones en automatización han tenido ya una repercusión sobre los precios de sus productos. La industria japonesa ha alcanzado tal grado de eficiencia, que incluso en Estados Unidos la industria local se está viendo en apuros.

Lo que se ha venido a denominar "fabricación flexible" se ha extendido a las pequeñas unidades industriales, permitiendo la fabricación de una amplia gama de productos en pequeñas partidas, mediante cadenas de producción controladas por un computador. El resultado es que los trabajadores son sustituidos por robots, manteniéndose sólo un pequeño número, probablemente incluso una sola persona, para controlar todo el proceso de producción. Estos proyectos resultan muy costosos en términos de inversión de capital, aunque, en Inglaterra, por ejemplo, el gobierno concede ayudas significativas para instalar plantas de fabricación flexible. Se están perfeccionando robots de propósito general programables que facilitarán la automatización de las industrias que trabajan a pequeña escala. La fabricación de robots se lleva a cabo por medio de robots, con lo que disminuye su precio y aumenta su impacto sobre la actual revolución industrial. Actualmente ya se están utilizando robots para el ensamblaje de productos, como, por ejemplo, en la construcción de alternadores, en donde el ensamblaje de sus diecisiete partes es realizado por un robot en menos de

tres minutos, lo que supera por completo la capacidad de rendimiento humana. La productividad se valora en términos de la relación entre producto y coste y, por tanto, puede elevarse aumentando el rendimiento o reduciendo los costes. La automatización puede, indudablemente, aumentar el rendimiento, pero, además, una vez amortizada la inversión de capital, contribuirá también a reducir los costes. Al ir incrementándose los costes de la mano de obra y al ir reduciéndose el precio de los robots, la automatización se va haciendo cada vez más atractiva para los fabricantes a gran escala, aunque también entra dentro de las perspectivas de la pequeña industria.

Los niveles de empleo, al igual que los de productividad, son también el resultado de un equilibrio entre dos factores: puestos de trabajo perdidos/nuevos puestos de trabajo creados. Hasta aquí hemos examinado los sectores afectados por la pérdida de puestos de trabajo, que son las industrias tradicionales y las plantas de fabricación sometidas a una creciente automatización. Sin embargo, la microtecnología también ha creado nuevas industrias y ha contribuido a elevar la escala y la importancia de todas las empresas cuya producción se basa en la electrónica. A partir de la década de los cincuenta la industria de los computadores ha experimentado un drástico crecimiento, al igual que el sector dedicado a aparatos electrónicos (televisores, radios, calculadoras, videojuegos, pequeños electrodomésticos, etc.). La tecnología destinada a las oficinas ha pasado de ser mecánica a ser electrónica, y constituye otro importante sector, así como los equipos para puntos de venta (cajas registradoras informatizadas, etc.) y los sistemas de telecomunicación. Desde mediados de la década de los sesenta hasta mediados de los setenta el mercado electrónico ha experimentado un crecimiento de más del 200%, y en todos los países desarrollados ha superado las aportaciones de cualquier otro sector al aumento del producto nacional bruto. La gama de productos electrónicos aumenta también rápidamente: el catálogo de Olivetti de 1965 presentaba 95 productos, y más de 600 en 1978; puede decirse por tanto que el crecimiento de este sector ha sido constante, y todavía continúa.

Mientras que las industrias tradicionales, como la metalúrgica y la construcción naval, han decaído en los últimos años, las nuevas industrias se han desarrollado basándose en la nueva tecnología. Un argumento que se puede escuchar frecuentemente es el de que las nuevas industrias, al crear nuevas fuentes de riqueza, crean inevitablemente nuevos puestos de trabajo. No cabe duda de que esto fue así en el pasado, pero el pasado no siempre es un buen indicador del presente. La creación de puestos de trabajo durante el siglo XIX se produjo gracias a las nuevas industrias en las que el trabajo era un factor intensivo —como, por ejemplo, la construcción de las líneas férreas—, aunque esto traería consigo la importación de mano de obra y, por último, llegaría a significar el desplazamiento de la mano de obra de una ocupación —digamos la agricultura— a otra. Las comparaciones entre unas industrias y otras no conducen necesariamente a la obtención de una buena visión general, y la comparación del pasado con el presente ha de hacerse teniendo en cuenta la distinta naturaleza de la tecnología. Por tanto, la cuestión sería preguntarse si el crecimiento de las nuevas industrias trae consigo la promoción de nuevos puestos de trabajo, como ocurría en el pasado.

Como era de esperar, la industria electrónica es la más avanzada técnicamente y la más automatizada, de manera que su crecimiento se refleja más en términos de productos que en términos de empleo creado. Incluso se han producido pérdidas de puestos de trabajo mientras se daba un crecimiento espectacular de la producción. Así, por ejemplo, en 1977 la industria de la informática de la República Federal Alemana aumentó su producción en un 27,8%, al mismo tiempo que su personal se reducía en un 4%. Durante la década de los años setenta los principales fabricantes de equipos electrónicos redujeron el número de empleados en un 40%, afectando sobre todo a los trabajadores menos cualificados. La creación de empleo se ha producido sobre todo en los sectores técnicos y especializados del proceso industrial, siendo el campo del desarrollo del *software* el que mayores oportunidades de empleo ofrece. Pese a todo, son más los puestos de trabajo que se pierden que los que se ganan.

Los nuevos empleos creados en la industria y el comercio, promovidos por las nuevas tecnologías, son sobre todo los de programador de computador. Debido a que ésta es un área de expansión de las oportunidades de empleo, se está promocionando toda una política educativa destinada a persuadir a los niños y jóvenes para que aprendan informática. Se estimula a las escuelas, mediante subsidios y libros de promoción, a que adquieran pequeños computadores, y los propios padres también se preocupan de que sus hijos tengan la oportunidad de aprender informática. Esto podría parecer algo muy positivo, si no fuera porque en la actualidad la meta principal de las investigaciones de la informática es desarrollar programas capaces de escribir programas, y programas que tengan la capacidad de autoprogramarse. En círculos informáticos se reconoce que la era de la gran demanda de programadores será muy breve, y que estos puestos de trabajo tenderán a desaparecer también muy rápidamente.

En la última década se crearon muchas empresas nuevas basadas en el desarrollo de nuevos productos electrónicos, microcomputadores y accesorios periféricos, con la correspondiente creación de oportunidades de empleo. Sin embargo, estas empresas han conseguido sobrevivir en muy pocos casos. Una vez se ha creado el mercado para un nuevo producto de éxito, las grandes compañías entran en acción: con un nivel superior de desarrollo, y con mayores recursos comerciales, pueden dominar a las pequeñas empresas y dejarlas fuera de juego. Naturalmente, se han dado algunos éxitos, pero por cada empresa que alcanza el éxito hay muchas más que fracasan. Las oportunidades de empleo creadas por las nuevas compañías tienen una repercusión muy pequeña — si es que la tienen— sobre las estadísticas de empleo.

Antes de que se produjera el cambio tecnológico, la pérdida de puestos de trabajo provocada por la mecanización industrial tenía como resultado un aumento de las industrias de servicios y una redistribución del empleo. El aumento de la complejidad de las sociedades industriales siempre había significado más puestos de trabajo de tipo administrativo o burocrático, y al aumentar la renta personal disponible se daba una expansión del sector de servicios.

La nueva tecnología, al ser más electrónica que mecánica, más intensiva en capital que en trabajo, y al estar relacionada principalmente con la información, ha afectado también a la industria de servicios.

La revolución de la oficina es quizá el ejemplo más espectacular del modo en que la microtecnología está afectando a la industria de servicios; la repercusión de la automatización de muchas actividades administrativas, de comunicación y de servicios supone en conjunto un impacto social mayor que el que se ha dado en el sector de la producción. Consideremos, por ejemplo, las implicaciones del correo electrónico, de la telecomunicación por transmisión de facsímiles (transmisión electrónica de documentos desde un "lector" hasta una impresora situada en otro lugar), de la lectura automática de los contadores, de las teleconferencias ("mesas redondas" cuyos participantes se encuentran en lugares diferentes), o de los servicios de videodata. Todos estos servicios, basados en la microelectrónica, se utilizan ya en Estados Unidos y en Europa, y se espera que estén en pleno funcionamiento antes de 1990, incluida también la impresión doméstica de periódicos transmitidos electrónicamente.

El correo electrónico hará que se prescinda del tradicional cartero o, al menos, reducirá considerablemente los servicios postales de entrega en mano, porque seguirá existiendo en algún grado la necesidad de enviar físicamente documentos, paquetes, etc. La selección automática ha producido ya un recorte del número de empleados en los servicios postales, y la introducción de la transmisión electrónica de información reducirá los servicios todavía más. Pero el alcance de las repercusiones será aún mayor, ya que existen una serie de negocios vinculados a los servicios postales, como la industria de la imprenta, la fabricación de sellos (diseño, impresión y distribución), la producción de objetos de escritorio, etc. Las pequeñas imprentas que imprimían los membretes de las cartas, los fabricantes de sobres y de papel de carta y los negocios de venta al detalle de materiales relacionados con la correspondencia sufrirán una reducción en su volumen de negocios y, por tanto, caerán en la bancarrota o se verán obligados a reducir su personal

para poder subsistir. La lectura automática de los contadores permite prescindir de los empleados que se dedican a este trabajo, reduciendo a la vez el trabajo administrativo que va unido a la facturación de estos servicios. La transmisión de facsímiles ampliará el impacto del correo electrónico, mientras que las teleconferencias afectarán a los servicios de transportes públicos.

La industria periodística se ha visto en dificultades durante muchos años, debido en parte a los cambios económicos y a la introducción de la nueva tecnología. Como ya hemos mencionado, actualmente resulta posible para el periodista teclear su artículo en el teclado del terminal, editarlo y, automáticamente, obtener el texto ya fotocompuesto y listo para imprimir, sin necesidad de más personal. Muchos empleos tradicionales simplemente han desaparecido. Si las noticias y los artículos son transmitidos electrónicamente y son reproducidos en las pantallas de los computadores domésticos, entonces incluso la impresión final del periódico sería suprimida, y la industria sufriría una profunda transformación que la haría irreconocible. No resulta sorprendente que los sindicatos relacionados con la industria periodística se hayan opuesto a tales cambios, o los hayan admitido sólo ajustándose a severas condiciones, ya que el impacto de las nuevas tecnologías se ha dejado sentir vivamente.

Al igual que en el sector de la producción, el aumento de las industrias de servicios informatizadas, tales como bancos, etc., no ha ido acompañado por el correspondiente aumento de puestos de trabajo, ya que, por su naturaleza, este tipo de industria está altamente automatizado. Su difusión, acompañada de una creciente centralización, está conduciendo a una pérdida de empleo neta, a dificultar cada vez más la competitividad de las pequeñas empresas y, frecuentemente, a una pérdida de servicios para el cliente.

La introducción del sistema de transferencia electrónica de fondos y de otros servicios bancarios automatizados significará una inevitable pérdida de puestos de trabajo en el sector de banca y contabilidad, ya que será el computador el que efectúe las transacciones que anteriormente se hacían manualmente. Los millones de cheques que pasan diariamente de un banco a otro desaparecerán,

afectando también desde este sector a las imprentas, papelerías y servicios de transporte, y haciendo innecesarios muchos de los empleados que existen ahora. Lo mismo puede aplicarse a muchos de los trabajos rutinarios de oficina, a la contabilidad y a la administración que en la actualidad todavía se llevan a cabo manualmente. Las compañías de seguros, los organismos estatales y otros centros administrativos públicos o comerciales están empezando a transferir el trabajo a las máquinas.

La revolución de la oficina está centrada alrededor del tratamiento de textos y sistema de archivo electrónico, actividades decisivas para la eficiencia del trabajo administrativo. Al introducirse los primeros procesadores de textos, a mediados de la década de los setenta, se llegó a estimar que con una de estas máquinas la productividad de una secretaria aumentaba de un 100 a un 150%. Muchas empresas e instituciones descubrieron que podían prescindir de mantener todo un equipo de mecanógrafos gracias al potencial adicional que los procesadores de textos otorgaban a cada mecanógrafo. El mecanografiado se hace más rápido porque las correcciones resultan mucho más simples y rápidas de hacer, ya que no es necesario repetir todo el texto, y es posible almacenar en el archivo una serie de modelos estándar de cartas que pueden modificarse según el uso específico que se les dé. La impresora puede seguir funcionando mientras la secretaria mecanografía otro texto para introducirlo en la máquina, o incluso mientras la secretaria hace la pausa para el café. Con la reciente incorporación de este tipo de prestaciones de la máquina, la productividad puede elevarse al triple, lo que significa que la capacidad de trabajo de la oficina aumentará considerablemente sin necesidad de ampliar su plantilla, o que podrá reducirse el número de empleados. Ambas posibilidades implican una pérdida —real o potencial— de puestos de trabajo.

La mayoría de los trabajos de secretaría son realizados por mujeres, de forma que serán ellas las primeras en sufrir los efectos de la transformación de la oficina por las nuevas tecnologías. En la República Federal Alemana, donde en la actualidad hay alrededor de cinco millones de puestos de mecanógrafa o secretaria, se cal-

cula que entre un 25 y un 40% de estos empleos podrían perderse con la automatización de las oficinas, lo que afectaría a más de dos millones de personas. En noviembre de 1982 el periódico *Wall Street Journal* informaba que cuando la automatización irrumpiera en el mundo de los negocios un número desproporcionado de mujeres sería despedido, incluso de cargos directivos y cualificados profesionalmente. También en otros sectores de la industria de servicios las mujeres sufrirán los efectos de la automatización, así como en la industria de la producción, ya que los puestos de media jomada suelen estar cubiertos por mujeres, y serán precisamente estos puestos los primeros que serán eliminados. Muchos empresarios prefieren dar trabajo a hombres, sobre todo en las profesiones más técnicas, en donde el ambiente educacional tiende a fomentar una mayoría masculina. Generalmente las mujeres están menos organizadas como fuerza de trabajo —son menos las mujeres que se afilian a sindicatos— y frecuentemente su trabajo supone un complemento para los ingresos familiares y no el medio de sustento principal. Por tanto, el desempleo originado por las nuevas tecnologías repercutirá también sobre el papel social de hombres y mujeres, sobre los papeles masculino/femenino, probablemente tendiendo a acentuar el modelo tradicional. Sin embargo, son quizá las mujeres las que están en mejor situación para revitalizar los trabajos de artesanía —en los que la creatividad y la elaboración individual seguirán conservando su valor— y para cubrir el posible aumento de puestos de trabajo en los servicios asistenciales, donde se necesita más capacidad para las relaciones humanas.

A partir de 1980 el coste de los equipos electrónicos de oficina ha descendido lo suficiente como para que la adquisición de un procesador de textos sea una alternativa más barata que la contratación de una nueva secretaria; el coste de estas máquinas supone sólo el triple o el cuádruple del de una máquina de escribir eléctrica. Si un operador trabajando con un procesador de textos es capaz de realizar el trabajo de tres mecanógrafos por menos de lo que cuesta mantener dos empleados, está claro que existirá una fuerte motivación para la automatización, sobre todo si no es necesario efectuar una gran inversión de capital. Si el procesador de textos

forma parte de una red que cuenta con archivos electrónicos, el sistema se hace aún más potente y más tentador para ejecutivos y directivos, que tenderán a utilizarlo personalmente, puesto que les proporciona un acceso directo a la información que necesitan sin tener que recurrir a auxiliares o secretarias. Se ahorra espacio (desaparecen los archivos y ficheros), se reducen los costes (menor utilización y desperdicio de papel) y aumenta la eficacia. La oficina del futuro podría estar constituida por unos cuantos ejecutivos, con sus terminales, y varios auxiliares administrativos. Y esto resulta preocupante, no sólo por la reducción del nivel de empleo que supone, sino también porque los puestos de trabajo que se conservan son para personal especializado y de alto nivel. Entonces, ¿cómo podrán los jóvenes abrirse camino para alcanzar un puesto de directivo? Los puestos de aprendiz serán completamente superfluos, de modo que la automatización no sólo afectará a las mujeres sino también a los jóvenes.

Dado que la tecnología basada en microprocesadores tiende a reemplazar el empleo de mano de obra por máquinas, ¿cuál será en realidad su efecto sobre el nivel de empleo? Los actuales países desarrollados han tenido que enfrentarse a un desempleo creciente que ha llegado a ser en algunos sitios hasta de un 10 o un 15% a escala nacional. Algunos estudios sobre el tema pronostican para la década de los años noventa unos niveles de desempleo del orden de un 25%, lo que representaría para Inglaterra, por ejemplo, unos 7 u 8 millones de parados. Es muy probable que los costes sociales de una situación así, con los consiguientes problemas de frustración, aburrimiento y resentimiento (los desempleados presentan una incidencia de enfermedades físicas y mentales, suicidios y delincuencia mucho más elevada que las personas que trabajan), resulten inadmisibles tanto para los gobiernos como para el pueblo. Los programas de educación destinados a contrarrestar los efectos de un aumento del "ocio" no pueden ser considerados como sustitutos aceptables del trabajo. La educación para modificar la actitud general frente al trabajo trae a colación la cuestión del control social, que discutiremos en el próximo capítulo. Sin embargo, merece la pena comentar que la denominada ética pro-

testante del trabajo —que es considerada por muchos como una de las actitudes que hay que modificar— es precisamente la actitud que ha creado este sistema de industria y comercio cuya meta es la productividad competitiva y el crecimiento económico. Fue la actitud que originó la tecnología que ahora la hace superflua. Me es imposible imaginar cómo una sociedad basada en esta actitud puede llegar a existir como sociedad del "ocio". La tecnología en sí misma está orientada hacia el "trabajo".

Una posible solución al problema del desempleo sería la reducción del tamaño de la población, ya sea drásticamente, por medio de una guerra, o a través de un rígido programa de control de natalidad. Ambos métodos suscitan toda una serie de cuestiones morales y éticas, y ninguno de los dos ofrece una solución real al problema de qué puede hacer la gente con su vida. Respuestas de este tipo ciertamente desvalorizan la vida humana, tratando a la gente como si fueran objetos que pueden simplemente ser eliminados, o animales cuya reproducción debe ser controlada. La solución es una "fijación" técnica que presupone que la continuación del presente desarrollo tecnológico es más importante que el valor del ser humano; que el resultado del trabajo merece más la pena que el propio proceso de realizar el trabajo. Es cierto que el tamaño de la población es uno de los factores que determinan el número de desempleados, pero también hay otros factores, como el tipo de economía y la percepción social del valor del trabajo.

El aumento del desempleo causado por la nueva tecnología depende tanto de la pérdida de puestos de trabajo como de la creación de otros nuevos. Una de las razones por las que el equilibrio se desplaza hacia el desempleo es la pérdida de potenciales empleos originada por la microtecnología. Si asumimos que el crecimiento económico ha de continuar, aunque sea con una tasa de crecimiento baja, también asumimos que la producción seguirá aumentando. En el pasado el aumento de la producción era generalmente un signo de mayores oportunidades de empleo; pero esto no se puede aplicar al presente. Es evidente que no se está generando empleo, e incluso que, debido al aumento de la productividad que origina la nueva tecnología, los puestos que quedan libres

por despidos, dimisiones voluntarias o promociones dentro de una misma empresa, no vuelven a ser ocupados. Hace una década las grandes empresas comerciales, los bancos y las compañías de seguros daban trabajo a un gran número de jóvenes que acababan de terminar sus estudios, empleándolos como aprendices o personal subalterno. Esto ya no se da en la actualidad. En Inglaterra los bancos recortaron sus plantillas en más de 50.000 puestos de trabajo durante la década de los setenta, y en Alemania la reducción fue del orden de un 6 a un 10%. Los potenciales empleos se pierden, y el empleo generado no es suficiente para compensar esta pérdida, ya que las áreas de desarrollo son precisamente las industrias de alta tecnología. Sin embargo, el futuro es todavía imprevisible y tendremos que esperar para ver lo que ocurre en realidad.

Juan Rada, en el estudio que realizó para la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) de Ginebra, hace cuatro diferentes propuestas para contrarrestar la tendencia hacia un aumento del desempleo inducida por la microtecnología. Estas propuestas pueden resumirse en:

1. Reducción de las horas de trabajo.
2. Creación de nuevos productos.
3. Incentivar la pequeña industria.
4. Incrementar los servicios públicos.

La primera contramedida puede ponerse en práctica reduciendo las horas de trabajo semanales, eliminando las horas extraordinarias, aumentando el periodo de vacaciones y fomentando una jubilación más temprana. Todas estas medidas, que necesitarían estar apoyadas por un adecuado programa de educación, sólo darían resultado si la reducción de las horas de trabajo no significara una disminución de los ingresos del trabajador. No resultaría fácil reducir la semana laboral reduciendo también proporcionalmente los salarios, puesto que, pese a lo que les pueda parecer justo a los empresarios, la gente trabaja porque necesita dinero. Y lo que es más, la economía en general precisa que la gente disponga de dinero porque, si no, ¿cómo podría comprar los artículos que se están produciendo? Reducir el desempleo mediante una disminu-

ción de las horas de trabajo sólo puede conseguirse a costa de provocar un aumento de los costes de mano de obra, lo que no es precisamente un incentivo para los empresarios.

Una idea que está en la mente de muchos observadores es la de una comunidad de trabajo compartido, en la que la gente comparta su empleo con los demás, pudiendo optar por retirarse o jubilarse a cualquier edad, volver al trabajo cuando lo desee, reemprender sus estudios si les parece conveniente, etc. Otra idea es la de la "sociedad del ocio", en la que nadie necesite trabajar, excepto una pequeña minoría que trabajará en turnos relativamente cortos. En semejante sociedad todo el mundo recibirá un salario del Estado, que será establecido de acuerdo con la rentabilidad de toda la comunidad. Las fábricas automatizadas —se argumenta— serán tan productivas que podrán crear la riqueza necesaria para que todo el mundo disfrute de un alto nivel de vida. Este esquema exigiría que se produjeran enormes cambios en la actitud de la gente y en la estructura de la sociedad. Pero lo que más me preocupa de esta propuesta es que no es posible que funcione desde el punto de vista económico.

El dinero es símbolo del trabajo humano, incluso cuando ha llegado a reducirse a un flujo de electrones moviéndose en un circuito de computador. Si el dinero es generado por el trabajo de las máquinas y después es distribuido entre una población no trabajadora para comprar los productos que fabrican las máquinas, el resultado neto será que las máquinas están trabajando para nada, puesto que en realidad los productos estarían siendo repartidos de balde. Y, puesto que sólo cierta proporción del dinero será invertida por la gente en la adquisición de productos, esto significa que los productos no sólo serán gratuitos, sino que serán repartidos junto con dinero, es decir, que tendrán un precio negativo. Entonces ¿cómo será posible que las fábricas generen un beneficio que pueda repartirse entre la población? La idea es bastante absurda. El dinero no puede ser "creado" de la nada, que es el supuesto en el que se basa esta "sociedad del ocio". Además, la "sociedad del ocio" tendría que estar basada en la existencia de grandes industrias que, según el nuevo orden social, deberían repartir sus benefi-

cios entre una población no productiva. Entonces ¿cuál sería su motivación para crear riqueza? ¿Por qué tendrían que entregar su dinero al gobierno para que éste lo reparta entre la gente? ¿Por qué no eliminar el excedente de población? Las consecuencias sociales de este panorama podrían convertirse en una auténtica pesadilla.

La posibilidad de reducir las horas de trabajo sin una disminución de los ingresos del trabajador parece bastante remota en el intento de prevenir el desempleo tecnológico. La creación de nuevos productos como medio de generar empleo es una alternativa que ya hemos considerado anteriormente. Los nuevos productos son invariablemente productos de alta tecnología, o producidos por sistemas altamente automatizados, que no proporcionan empleo a demasiada gente. Sólo un incremento del modo de producción denominado como "industria doméstica", que es intensivo en trabajo, podría reducir el desempleo de forma apreciable; y me atrevería a sospechar que se producirá un aumento del trabajo artesanal y autónomo a nivel local. Hacerse independiente de las grandes corporaciones puede ser la única garantía que encontrará la gente para librarse de la posibilidad de ser sustituida por máquinas. La "economía sumergida" está ya desarrollándose y puede llegar a ser una genuina alternativa a las grandes empresas industriales de alta tecnología.

Rada manifiesta en su informe que los incentivos para las pequeñas empresas «se basan en el reconocimiento ya establecido de su importancia económica y de su potencial de creación de empleo». Señala también que los servicios e industrias que trabajan a gran escala no sólo ya no invierten en la pequeña empresa, sino que se están concentrando y centralizando cada vez más, lo que deja fuera de juego a la pequeña empresa. Incluso en Japón, en donde era tradicional la subcontratación de pequeñas firmas, debido a la automatización se está dando una progresiva concentración de la industria. La pequeña empresa no puede competir en el mismo mercado que la corporación gigante, porque las grandes inversiones y el bajo coste de la mano de obra conceden a la empresa gigante la ventaja competitiva. De nuevo vemos que las pequeñas

empresas tendrán que orientarse hacia productos alternativos y hacia una economía propia más personalizada.

La última contramedida para prevenir el desempleo es la creación de más puestos de trabajo en servicios públicos, pero precisamente en las instituciones gubernamentales es donde la automatización de las oficinas provocará las mayores pérdidas de puestos de trabajo. Ciertamente existen poderosos motivos para aumentar el número de médicos, enfermeras, maestros, asistentes sociales, asesores y demás personal de los servicios asistenciales, pero hay que tener en cuenta que tales empleos son "improductivos" dentro de un sistema económico que pone el valor material por encima de las necesidades humanas. Estos servicios tienen que ser pagados, lo que significa imponer elevados impuestos a las nuevas industrias tecnológicas generadoras de riqueza. Este esquema —que no difiere demasiado del paradójico panorama de la "sociedad del ocio"— no parece muy factible en un mundo de competición económica. No hay duda de que necesitamos aumentar —no reducir— los servicios asistenciales, pero esperar que se creen empleos de este tipo es esperar algo que parece ser improbable. Así pues, todo contribuye a pintamos el futuro bastante sombrío, con un inevitable elevado nivel de desempleo y con una mayor división social, a pesar del intento de educamos y mentalizamos para que este futuro nos resulte más llevadero y aceptable. Rada, en su *Impacto de la microelectrónica*, resume de este modo la situación:

«Parece ser que se está dando una transición de una sociedad en la que existe el desempleo a otra que ya no precisará de todo el potencial de su mano de obra para producir los artículos y servicios necesarios bajo las condiciones de trabajo normales. Es dudoso que medidas como la jubilación anticipada, la reducción de las horas de trabajo y la creación y desarrollo de pequeñas empresas y nuevos productos y servicios, vayan a tener mucho efecto sobre la creación de empleo. A pesar de todo, la necesidad de afrontar las necesidades educacionales, culturales y sociales inherentes a dicha transición, además de la resistencia cultural, pueden conducir a la creación de empleo en algunos campos. Una transición de esta naturaleza no puede quedar exenta de perturbaciones mientras la población trata de adaptarse a los nuevos estilos de vida».

La respuesta de los sindicatos a la amenaza de un creciente desempleo ha sido ya ampliamente comentada en otros capítulos, y ya se tiene noticia de medidas laborales de presión contra la introducción de nuevas tecnologías, como se han dado, por ejemplo, en la industria periodística. El resultado de tales acciones suele ser una renegociación de los términos y condiciones del trabajo a cambio de una aceptación —al menos parcial— de la tecnología. A menudo la alternativa sería cerrar la empresa y, en consecuencia, generar aún más desempleo. La nueva tecnología es un poderoso instrumento antisindical, lo que podría explicar una respuesta generalmente muda de los sindicatos hacia la tecnología. La nueva tecnología representa para los sindicatos varias cuestiones fundamentales, resumidas por M. Laver en cuatro conceptos, exceso de mano de obra, redistribución de la mano de obra, reconversión y desaparición de oficios. De todas formas, la cuestión de la nueva tecnología raramente constituye el tema central en la discusión de las relaciones laborales industriales. Cuando es así, sale a relucir con mucha frecuencia el término "ludita", ya que el planteamiento de los efectos negativos de las nuevas tecnologías se considera generalmente antiprogreso y, por tanto, no sólo anticuado, sino también en cierto modo destructivo. Es frecuente escuchar el argumento de que la sociedad siempre ha conseguido adaptarse a los cambios tecnológicos, y que también ahora lo logrará; pero tales argumentos no están basados en un detallado análisis de los efectos de la tecnología, ni en una cuidada definición de los factores que contribuyen al progreso social y al bienestar humano. Más bien, lo que se supone es que el cambio siempre es para bien, aunque sólo sea porque conduce a algo diferente, lo que constituye un moderno y extraño punto de vista. Ciertamente el efecto de la nueva tecnología sobre el trabajo ya se llegó a comprender hace muchos siglos, y hay constancia de casos, ya en tiempos medievales, en los que los trabajadores o los funcionarios de los ayuntamientos destrozaron las máquinas; incluso el emperador romano Vespasiano llegó a oponerse a la utilización de la potencia hidráulica por miedo a generar desempleo. La suposición de que los "luditas" no tenían razón forma parte de los prejuicios modernos.

Si en los países desarrollados la nueva tecnología tiende a crear más desempleo, en los países más pobres y en los países en vías de desarrollo su efecto será aumentar aún más la división entre "ellos y nosotros", entre el norte y el sur. La razón de esto radica en el hecho de que la automatización representa una independización de la necesidad de mano de obra. Uno de los principales recursos de los países en vías de desarrollo es su mano de obra barata, pero, una vez que una empresa decide automatizarse, su necesidad de mano de obra barata desaparece, con lo que desaparece también la motivación para "ayudar" a estos países invirtiendo en sus recursos o construyendo fábricas en ultramar. La fábrica automatizada puede instalarse sencillamente en el país de origen, en donde además podrá disponer con más facilidad de la asistencia técnica especializada que necesite.

El resultado es que los países pobres pierden divisas, la ayuda financiera que obtenían a través de las inversiones y la ayuda militar concomitante; además se quedan sin los maestros que les estaban enseñando el oficio y, posiblemente, el personal ya especializado prefiera emigrar hacia países desarrollados.

Automáticamente se llega a la conclusión de que este proceso es algo negativo, puesto que dar por supuesto que el crecimiento económico y el progreso tecnológico son los principales objetivos de la vida es una de las ideas que configuran el pensamiento actual; pero puede que sea mejor para los países subdesarrollados pasarse sin la clase de "ayuda" que les proporcionan las naciones industrializadas. Las nuevas tecnologías no son "neutras" y si les son retiradas por motivos económicos, esto podría redundar en beneficio del aspecto cultural. Lo que desde luego puede alegarse es que los países en vías de desarrollo podrían muy bien prescindir de tecnologías que dan lugar a divisiones sociales: élites profesionales y poblaciones desempleadas concentradas antinaturalmente en miserables barriadas de chabolas. Pese a la propaganda de que la tecnología de la información unirá al mundo en su red electrónica, sigue en pie el hecho de que la nueva tecnología ahondará el abismo existente entre ricos y pobres, tanto dentro de un mismo país, como entre unos países y otros. Esto no se debe sólo a los

efectos que tiene la automatización sobre el trabajo, sino también a la manera en que la microtecnología altera la propia naturaleza del trabajo.

El trabajo moderno consiste cada vez más en trabajar con máquinas más que en trabajar con gente. Una típica central eléctrica de la década de los años treinta contaría con una plantilla media compuesta por ingenieros, mecánicos, controladores, trabajadores y personal administrativo. Existirían las relaciones normales que suelen darse entre las personas que trabajan en la misma empresa y se daría un grado razonable de interacción humana. Una típica central eléctrica de los años ochenta estará prácticamente vacía. Todo su funcionamiento será supervisado por dos o tres personas desde una sala de control de alta tecnología, y la administración habrá sido completamente centralizada. La labor del técnico consistirá en asegurarse de que la maquinaria está desarrollando correctamente sus funciones y en hacerse cargo del control sólo en caso de emergencia. El trabajo es técnico y el entorno artificial, con muy poco contacto humano. Éste es un caso típico de cómo la nueva tecnología puede cambiar la naturaleza del trabajo.

En la nueva oficina se da más la relación de las personas con sus teclados y con sus monitores de televisión que la relación de unas personas con otras. Las intrincadas redes electrónicas aumentarán el sentimiento de enajenación que de por sí engendra el trabajo con máquinas. La monotonía de un terminal de computador, su amable suavidad, reduce la agudeza de muchas facultades humanas; crea una dependencia, casi una adicción, y esto reduce la capacidad crítica, del mismo modo que lo hace la televisión. El nuevo entorno laboral puede ser más seguro, menos sucio, menos ruidoso; pero también menos humano, más monótono, cada vez más aislado y muy artificial. Y todavía está por descubrir qué efectos tendrán estas nuevas condiciones sobre nuestra salud física y mental. Desde luego, existe cierta preocupación acerca de los efectos del uso continuado de los terminales sobre la vista, y también se sabe que los ambientes artificiales pueden resultar peligrosos para las personas susceptibles a la epilepsia. Los efectos físicos y mentales de ver continuamente la televisión, que afectan igual-

mente a los operadores de computadores (categoría en la que cada vez podrá incluirse más gente), han sido señalados por Gerry Mander. Gran parte de los datos que aporta se basan en las investigaciones realizadas por John Ott en Estados Unidos sobre los efectos nocivos del desequilibrio de las radiaciones emitidas por la tecnología electrónica, que sólo ahora están empezando a ser tomados en serio por la profesión médica. En Canadá, sin embargo, la legislación actual restringe las horas de trabajo con la pantalla de un terminal a cinco horas diarias, y a cero si se trata de mujeres embarazadas.

El aislamiento de contactos humanos reales no conduce en general a la salud mental: las personas se necesitan unas a otras. El aislamiento social conduce a trastornos mentales. La nueva tecnología reduce las personas empleadas al mínimo y se interpone entre las relaciones humanas directas. Esta pérdida de contacto humano tenderá seguramente a aumentar la angustia, y no se deberá sólo al ambiente del lugar de trabajo, sino también al ambiente doméstico, ya que el hogar se habrá informatizado y, cada vez más, los servicios, la información y las distracciones podrán obtenerse sin tener ni siquiera que salir de casa. El "nuevo" hogar, centrado en torno al terminal del computador con su ventana al mundo, puede conducir a un tremendo aislamiento social. Cuando el mundo entero es tu vecino y puedes comunicarte a distancia con cualquiera y en cualquier lugar, es que se está sustituyendo una genuina comunidad y un contacto humano real por un mundo fantástico de imágenes. En semejante escenario uno no puede funcionar como una persona completa. El hogar electrónico distancia a la gente de la gente, deshace aún más las comunidades y las familias y contribuye a aumentar el miedo al mundo exterior. Esta tendencia puede observarse ya en Estados Unidos, en donde las ciudades completamente informatizadas que se están construyendo empiezan a parecer fortalezas. El hostil mundo exterior es mantenido a raya, con lo que parece volverse aún más hostil. La gente, confinada en sus casas, trabajando mediante su terminal, comprando a través de conexiones de computador, recibiendo la información y la distracción a través de la pantalla de televisión, se

vuelve cada vez más incapaz de desenvolverse en situaciones que exijan una relación humana directa. Su humanidad ha sido mermada por la máquina. Los efectos morales y espirituales que puede tener este nuevo estilo de vida es algo que sólo podemos intentar imaginar.

El computador no sólo altera la estructura y el nivel de desempleo, también redefine la naturaleza del trabajo. Aunque el computador libera al hombre de trabajos rutinarios, repetitivos y mecánicos, no le ofrece ninguna alternativa. El trabajo no es ya el fruto de la labor del hombre, sino el producto *(output)* de una máquina, los medios y la finalidad. E. F. Schumacher, en su libro *Good Work (El buen trabajo)*, señala los tres propósitos fundamentales del trabajo humano: «Primero, proporcionar los artículos y servicios útiles y necesarios. Segundo, permitir a cada uno de nosotros emplear, y por tanto perfeccionar, nuestros dones como buenos administradores. Tercero, hacerlo al servicio y en cooperación con los demás, para así liberamos de nuestro innato egocentrismo» (pág. 3).

Con estos criterios es como deberíamos juzgar la conquista de nuestro trabajo por los computadores. La moderna sociedad industrial, de la que los computadores son la más actual expresión tecnológica, ya ha llegado a destruir la dignidad de la mayoría de las formas de trabajo. El computador extiende e intensifica este proceso. Los productos y los servicios que proporciona la nueva tecnología son casi siempre, por no decir siempre, innecesarios, y su producción exige que se estimule la avidez de estos productos, la envidia y la avaricia de consumidores y productores. El computador hace innecesarias las habilidades de la gente y sólo compensa a una minoría por esta pérdida, exigiéndoles un alto grado de sofisticación técnica. Finalmente, la máquina automática acaba con nuestra capacidad de trabajar en cooperación y al servicio de los demás; nos distancia, destruye o interfiere los canales normales de comunicación humana, intenta agradar a nuestros instintos más básicos, y hace que nuestra liberación trascendental sea aún mucho más difícil. El trabajo de las máquinas no merece en ningún sentido ser calificado de “buen trabajo”, porque su efecto sobre el tra-

bajador, o sobre la persona a la que sustituye, es alienante, destruyendo las raíces que les unen a la humanidad.

El impacto de los computadores sobre el trabajo comienza a sentirse ya, y se intensificará rápidamente en los próximos años. Ya se está orientando la educación hacia un nuevo tipo de sociedad, en donde la noción de desempleo será sustituida por la idea de que no es necesario que sea empleado todo el potencial de mano de obra. Los comienzos de la "sociedad del ocio" pueden detectarse ya en el tono de las declaraciones oficiales, en los programas educativos y en el carácter de la propaganda que está en el ambiente. La tendencia hacia una educación continuada y continua es uno de estos indicadores. El fomento de una creciente racionalización de la industria y el esfuerzo por aumentar la productividad y la competitividad económica hacen del movimiento hacia una "sociedad del ocio" un imperativo cuya obtención sólo será posible pagando cierto precio. Y este precio, más que en términos de dinero, será pagado en términos humanos y sociales, y no habrá muchas posibilidades de "negociarlo" en el proceso de la transición. Rada, en el párrafo que hemos citado, dice que se producirán «perturbaciones mientras la población trata de adaptarse», aunque da por sentado que la gente quiera adaptarse y que, inevitablemente, se adaptará. Qué posibilidad tiene la gente de aceptar o rechazar una nueva sociedad, de aceptar o rechazar ser reemplazada por máquinas, es un aspecto del impacto social de la tecnología de la informática que consideraremos a continuación. El impacto sobre el trabajo será considerable. La escala internacional de esta tecnología hará que su impacto también sea considerable a nivel mundial. El progresivo movimiento hacia la elaboración de una red de sistemas informáticos cada vez más potente y flexible, interconectados con sistemas tecnológicos de información, hará que su impacto sea tremendamente dramático; pero en realidad el drama ya está siendo representado a nuestro alrededor, y nosotros mismos estamos participando en él.

9. Atrapado en un laberinto

SE ENCUENTRA USTED EN UN LABERINTO DE PEQUEÑOS Y ENREVESADOS PASADIZOS, TODOS DIFERENTES. Estas palabras, que aparecen escritas en la pantalla, pertenecen a un videojuego llamado "Aventura", un juego lleno de fantasía. En él hay un tesoro, hay que rescatar princesas, uno es atacado por gigantes, dragones y enanos y, a veces, se pierde en un laberinto. Se han escrito diferentes versiones del juego para los distintos tipos de máquina, y los más sofisticados son los que se pueden jugar con los grandes computadores. El laberinto de pasadizos, todos diferentes, es mucho más fácil de superar que otro en el que puede uno caer y que dice: SE ENCUENTRA USTED EN UN LABERINTO DE PEQUEÑOS Y ENREVESADOS PASADIZOS, TODOS IGUALES. Esto exige que uno señale cada pasaje que recorra para saber después si ya se ha estado allí antes o no. Será necesario que uno se vaya dibujando su propio mapa y, además, hay que tener suerte para no ser atacado de repente o asaltado por algún villano, que puede estar acechando en cualquier lugar. En una de las versiones del juego hay un laberinto llamado EL LÍMITE DEL INGENIO, del que la mayoría de la gente no puede escapar, excepto quizá diciéndole a la máquina que han decidido suicidarse. De este modo tienen la posibilidad de reencarnarse en otro lugar, con la correspondiente pérdida de puntos, y el juego puede continuar.

Estar atrapado en un laberinto es un símbolo —al menos para mí— de la situación en que nos encontramos con respecto a los computadores en general. Estamos siendo atrapados en una clase de trampa mucho más peligrosa que las fantasías de la "Aventura". Para empezar, hemos desarrollado —y muy rápidamente, por cierto— una compleja red de nueva tecnología que, en realidad, no alcanzamos a comprender. Las consecuencias que se derivan de la nueva tecnología sólo empiezan a ser comprendidas y sentidas por una minoría de personas. Sin embargo, hay mucha gente que expe-

rimenta instintivamente sentimientos de miedo y aprensión hacia la nueva tecnología, aunque estas personas están siendo rápidamente convencidas de que sus miedos no tienen razón de ser. Para la mayoría de las personas el problema es cómo reaccionar y cómo orientarse en el laberinto que comienza a rodeamos. La propia complejidad de los sistemas informáticos es también una trampa.

Ya se han construido grandes sistemas de computadores que nadie alcanza a comprender. Su *software* habrá sido diseñado por un equipo de técnicos con un objetivo general bien definido, pero los diferentes miembros del equipo no tienen por qué comprender completamente el funcionamiento detallado de las partes del sistema que hayan sido diseñadas e integradas por otras personas. Cuanto más grande sea el sistema más probable será que se dé una situación de este tipo, con el problema concomitante de que nadie será capaz de predecir cómo interaccionarán las diferentes partes del sistema. Naturalmente, el sistema será probado y supervisado a fondo para asegurar que realice exactamente el cometido para el que ha sido diseñado, aunque se darán, a pesar de todo, interacciones que no habrán sido programadas explícitamente y que podrían ocurrir imprevisiblemente. El sistema es demasiado complejo para que nadie lo entienda.

Cuando ocurre lo inesperado, suponiendo que su efecto sea apreciable, puesto que puede no serlo (los peores tipos de interacciones inesperadas son los que producen una alteración en otra parte del sistema, que será la que parecerá haberse averiado), se recurrirá a otro programador, o incluso a un pequeño equipo de programadores, para resolver el problema. Es improbable que se pueda contar con los mismos programadores que diseñaron el programa en un principio, de manera que el nuevo programador, o el nuevo equipo, tendrá que estudiar el sistema, o la parte del sistema que ha fallado, y volver a escribir los códigos necesarios. Tampoco ellos tendrán una comprensión global del sistema, y sus correcciones pueden muy bien provocar otros “fallos” posteriores en cualquier parte del sistema. Y lo que es aún peor, el propio sistema estará seguramente creciendo y cambiando según sus usuarios exijan la ampliación de su capacidad de tratamiento de la

información, prestaciones adicionales, etc. Según van interviniendo nuevos programadores para perfeccionar y ampliar un gran sistema, éste se va volviendo más incomprensible e imprevisible.

Ya existen sistemas así. Pueden actuar imprevisiblemente, y su comportamiento es calificado de "psicótico". Bastará un ejemplo para ilustrar el problema y los peligros de un sistema evolucionado supercomplejo, a saber, el que utiliza Estados Unidos para la coordinación de su sistema de defensa. Este ejemplo puede servir también para ilustrar el problema que crea la interconexión de computadores, que suele engendrar una red tremendamente compleja cuyas posibilidades de funcionamiento resultan bastante imposibles de conocer. El sistema de defensa de Estados Unidos —en más ocasiones de las que se han admitido oficialmente— ha generado señales que han sido interpretadas por otra parte del sistema como un aviso de que el país estaba siendo atacado por la Unión Soviética. Este "error" no se debió a una interpretación incorrecta de las señales emitidas por un radar que detectara una bandada de pájaros (cosa que también ha llegado a ocurrir), sino a que el propio sistema generó un falso aviso de "ataque". El resultado fue que se produjo una alerta de guerra y que se dispusieron inmediatamente misiles con cabezas nucleares listos para un contraataque. Afortunadamente el sistema todavía necesita una última orden humana, pero si esta orden se da sobre una base falsa, la historia del *Doctor Strangelove*[12] podría convertirse en realidad.

El lanzamiento de un ataque por iniciativa de un sistema de este tipo sin consultar a los humanos sería, desde luego, el guión de la película más desoladora que imaginarse pueda. En la película *2001, Una odisea del espacio,* el computador de la nave, HAL, decide tomar el mando de la misión espacial porque "sentía" que los astronautas no ponían el éxito de la misión por encima de todo. La alarma de la tripulación y las contramedidas que toma son interpretadas por HAL como una confirmación de su propio punto de vista, de modo que el computador se vuelve altamente "psicótico"

[12] Personaje de la película de Stanley Kubrick. *Dr. Strangelove* (¿Teléfono rojo?, volamos hacia Moscú).

y, al final, tiene que ser desmantelado por el último superviviente de la tripulación. El "caso HAL" es un grave problema real en los ambientes informáticos, sobre todo para las personas que trabajan con grandes sistemas, y ya se han dado casos parecidos, aunque en una versión más benigna, con relativa frecuencia. Un experto en informática afirmaba que si su máquina le respondía de un modo que estuviera completamente fuera de programa le arrancaría los cables; sin embargo, este tipo de respuesta anómala es algo que ha ocurrido ya, y de varias formas distintas.

Un gran sistema informático es en sí mismo una especie de laberinto, y de una clase de la que no es nada fácil escapar. Me he detenido a describir este problema porque en realidad los grandes e imprevisibles sistemas informáticos están "fuera de control"; nadie es capaz de comprenderlos en su totalidad y su funcionamiento puede ser a veces distinto de lo que se esperaba. Hasta el propio programador está manteniendo una batalla perdida con el sistema, porque cada alteración que haga para ponerlo bajo su control puede alterarlo de modo imprevisible, y siempre habrá algo que se le escapa. Así pues, una de las trampas de este laberinto es la trampa de creer que el computador es sólo un instrumento y que hace lo que le ordenamos.

La programación de computadores es un trabajo de tipo técnico, y los programadores tienen una comprensión técnica de lo que se exige de su trabajo. Los fines y las funciones de un sistema informático son decididos por sus propietarios y no por los programadores, de modo que el sistema se diseña para hacer lo que desean sus propietarios, por ejemplo, para mejorar la eficacia de sus negocios. La naturaleza de tales negocios puede ser comercial, militar o gubernamental; el programa supondrá una ayuda para la empresa, pero también la modificará. El cambio de tecnología altera la naturaleza del negocio, aunque pueda parecer que simplemente amplía y mejora la eficacia de los métodos ya existentes. Esta paradoja forma también parte del laberinto en que nos encontramos. La revolución de la informática está cambiando nuestra vida, y lo hace por concentración de lo que ya tenemos, haciéndonos cada vez más dependientes de la manera en que se presentan

las cosas, extendiendo lo que tenemos hacia escalas cada vez mayores, enredándonos en sus intrincadas redes. También resulta paradójico que la organización social, que aumenta al crearse una dependencia social de la tecnología, quede fuera del control social, en el sentido de que la sociedad no elige el camino por sí misma, sino que éste le es presentado como un *fait accompli.*

Cuando un sistema es diseñado e instalado en una organización, la propia creencia en que el sistema hará simplemente aquello para lo que ha sido programado es, de por sí, una amenaza que oculta numerosos peligros. El programa no es meramente una serie de instrucciones, sino un modelo de ciertos aspectos del mundo real. La manera en que funciona el modelo, sus aspectos técnicos, son asunto del programador; los resultados que produce estarán destinados a satisfacer las necesidades del usuario. Sin embargo, el usuario casi nunca comprenderá cómo se llega a estos resultados, y probablemente le traerá sin cuidado; se trata sólo de una cuestión técnica. El peligro es que, casi inevitablemente, el usuario llegará a creer ciegamente en los resultados, haciéndose dependiente de ellos. Cuando una organización invierte una importante cantidad de dinero en un complejo sistema informático capaz, en efecto, de tomar decisiones para el usuario en cuanto a que "aconseja" sobre futuras opciones, ¿quién se atreverá a ponerlo en duda? Si el computador dice esto y esto, y uno no va a creérselo, ¿para qué gastarse el dinero? Cuanto más caro sea el sistema más se inclinarán sus usuarios a creer en él, independientemente de su falta de conocimientos técnicos. Irónicamente, cuanto más caro y complejo es el sistema, más probable es que sea poco manejable y que no merezca toda confianza.

Hay varias razones para no fiarse de un sistema que proclama producir los resultados para los que ha sido diseñado. En primer lugar, está la cuestión básica de que su funcionamiento sea correcto, porque puede ocurrir que no haga lo que se le ordene. En un sistema simple esto nunca será un problema grave, pero, como ya hemos comentado anteriormente, según el sistema se hace más complejo resulta más difícil comprobar que los resultados que produce son "ciertos". Un programa de computador diseñado para

efectuar cálculos científicos demasiado complejos para realizarse manualmente puede controlarse de varias maneras, incluyendo la comparación con otro computador que haya sido programado independientemente. Si ambos resultados coinciden se podrá tener confianza en ellos, pero sólo en la medida en que creemos que el mismo error no puede repetirse dos veces en dos casos independientes. Los resultados pueden ser falsos, aunque sólo sea de una manera sutil. Sin embargo, en el caso de que el destino humano dependa del sistema, como en sus aplicaciones a la medicina o al campo militar, incluso un fallo sutil o un minúsculo error de cálculo pueden ser fatales.

Además, los fallos o averías de los componentes de los grandes sistemas quizá no afecten a una fase concreta del procesado, sino que pueden alterar insidiosamente el programa, la base de datos o los límites entre los diferentes procesos, manifestándose sólo después en forma de un resultado incorrecto.

Una segunda razón para desconfiar de los sistemas complejos es que, inevitablemente, son tan sólo un modelo de algo. Un programa diseñado para realizar pronósticos económicos construirá un modelo electrónico de cierta parte de la teoría y práctica económicas. Así pues, tendrá integrada una serie limitada de supuestos acerca del modo en que funciona la economía y sobre los factores que la afectan. Por muy sofisticado que sea el modelo, en realidad no es más que un modelo, incompleto, parcial e influido por los supuestos con que ha sido construido. Esto es válido para todo tipo de programas, ya sean para diseño industrial, física teórica, diagnóstico médico o para pronosticar el tiempo. Los resultados de estos programas serán funcionales y parecerán perfectamente creíbles, aunque estarán sujetos a las limitaciones del modelo y a la forma en que éste ha sido construido por el programador. Manipulando el modelo pueden obtenerse diferentes pronósticos que serán interpretados como modos de comportarse del mundo real. Es precisamente creer esto lo que resulta peligroso, porque el modelo del computador no es el mundo real, ni nunca podrá serlo. El problema surge precisamente porque la máquina parece tener autoridad, y la “respuesta modelo” es interpretada como la “verdad”.

En la investigación realizada para elaborar el Informe Serpell sobre el futuro del sistema ferroviario inglés podemos encontrar un buen ejemplo de las limitaciones de estos modelos. Las propuestas de este informe afectaban a grandes sectores de la sociedad, aunque la investigación había estado basada en un modelo sujeto a las limitaciones de los supuestos sobre los que había sido construido y de las relativamente burdas simulaciones informáticas de tales supuestos. El informe estaba destinado a ser utilizado por el gobierno como base para su futura política, a pesar de que el modelo demostrara ser defectuoso o estar sujeto a graves limitaciones. El coste y la "autoridad" de la máquina pueden servir para determinar una política o para justificarla.

Siempre habrá que poner en duda los consejos de una máquina, puesto que la máquina nunca podrá tener en cuenta todos los factores que confluyen en la experiencia humana: la dependencia del consejo de una máquina puede tener como resultado que se tomen medidas inhumanas o que sean tomadas sin responsabilidad. Weizenbaum expone cómo durante la guerra del Vietnam los computadores "juzgaban" qué aldeas deberían ser bombardeadas. Las decisiones tomadas a consecuencia de estos juicios significaban la muerte para muchas personas, y nadie era responsable de ello. El responsable era la máquina. Y lo que es peor: los computadores fueron programados para mentir a los responsables políticos en cuanto a los objetivos que habían sido bombardeados. El bombardeo secreto de Camboya no fue detectado durante cierto tiempo, debido a que los detalles de las misiones de los bombarderos fueron falsificados por el computador para hacer que los objetivos fueran "legítimos" (es decir, vietnamitas). He aquí un caso en el que el computador reforma la realidad y "hace" historia.

El modo de pensar que suele ir unido a los sistemas informáticos, desde el punto de vista tanto del usuario como del programador, tiende a dar por sentado que todos los problemas tienen una solución técnica, a la que se puede acceder mediante técnicas informáticas. Lo que no se llega a plantear nunca es si un determinado problema debe ser tratado de esta forma. ¿Deberían las máquinas hacer juicios legales? ¿Es correcto permitir que un computador

dirija la psicoterapia de un paciente? Nadie se pregunta si abordar un problema utilizando un computador puede cambiar la naturaleza del problema y la manera de tratarlo. El desprecio hacia estas cuestiones es otro motivo de preocupación en relación con la fiabilidad de los sistemas informáticos; preocupación por las intenciones de aquellos que abogan por su utilización. Es necesario analizar y comprender las motivaciones de los que preconizan soluciones técnicas antes de poner nuestra confianza en sus resultados; sin embargo, nos encontramos con que se confía en las máquinas ¡precisamente por su neutralidad, frialdad y objetividad! El síndrome del *hacker* ya se manifiesta a nuestro alrededor. ¡También nosotros mismos estamos atrapados en ese intrincado pasadizo!

Incluso cuando los computadores pueden ofrecer soluciones para la investigación de un problema, surge la cuestión ética de decidir para qué deberían ser utilizados los computadores (y sobre esta cuestión volveremos a insistir en los próximos capítulos). Invertir en un computador significa que ya se ha previsto un uso para él, pero su instalación es el comienzo de otro enrevesado pasadizo. Una vez ha sido adquirido el computador —tanto si se trata de un pequeño computador doméstico como si es un gran sistema informático— hay que justificar su compra. Se empieza por buscar tareas que puedan ser desempeñadas por la máquina, más que plantearse los problemas concretos que existen y tratar de buscar el instrumento adecuado para resolverlos. En medicina, por ejemplo, se utilizan computadores para localizar tumores mediante sistemas extraños y sofisticados, mientras que problemas médicos mucho más apremiantes —cuya resolución no necesita de instrumentos tan complejos y lujosos— son dejados a un lado. El orden de prioridades es alterado por los computadores, y por tanto la máquina puede afectar a la sociedad de modo imprevisible.

Cuando los computadores del Pentágono "mentían" acerca del bombardeo de Camboya, en realidad las máquinas no hacían más que obedecer las instrucciones que se les habían dado. Las máquinas "mentían" debido a que las instrucciones que obedecían habían sido manipuladas. El problema con los sistemas informáticos es que son vulnerables al fraude y a la inexactitud de los datos. Su

integridad puede verse atacada deliberadamente por error u omisión. También están expuestos a sufrir daños físicos, y todo ello los hace aún más inseguros y, por tanto, menos fiables. La trampa en que la gente suele caer es creer que son absolutamente seguros.

La seguridad de los computadores es un grave problema que no sólo afecta a su protección física, a la prevención de abusos, fraudes y acceso ilegal, sino también a la integridad de la información que se les suministra. Un programa para hacer previsiones comerciales, por ejemplo, puede no resultar muy útil si los datos que se le proporcionan no son exactos. Las decisiones tomadas para una futura planificación, basadas en el análisis de los datos obtenidos mediante un sondeo, carecerán de valor si existen errores en la información que se ha suministrado al computador. Estos errores pueden producirse en cualquier momento de la recogida de datos: cumplimentación incorrecta del formulario, codificación errónea de la información, errores de *input* al introducir los datos en la máquina, etc. Incluso las preguntas que no han sido formuladas pueden ser importantes para la fiabilidad del programa de predicción. Los pronósticos serán tan buenos como bueno sea el modelo y los datos suministrados, y frecuentemente son los factores imprevistos los que hacen que la realidad sea tan diferente de lo que la gente espera. Naturalmente, todos estos problemas se dan cuando no existen computadores.

Los computadores se utilizan cuando la escala de la cuestión lo requiere. No tendría mucho sentido analizar datos para tomar decisiones individuales, como, por ejemplo, si ir o no al teatro esta noche, porque aunque pueda haber un número considerable de factores que influyan sobre esta decisión, la elección envuelve una serie de factores subjetivos no cuantificables. Sin embargo, al tratar de pronosticar el futuro económico de un negocio, sí tiene sentido emplear un computador, porque el problema es aparentemente demasiado amplio. Sin embargo, nuestros antepasados parecen haber sido capaces de resolver este tipo de situaciones bastante bien. Incluso la Segunda Guerra Mundial fue dirigida sin el "consejo" de los computadores; pero la mera presencia de los computadores parece exigir su utilización. Al analizar los factores que

influyen sobre el futuro de un negocio quizá haya que hacer enormes simplificaciones para poder manejar técnicamente el problema. Así, mientras que en el pasado el jefe conocía personalmente a sus empleados, su vida y sus problemas, sus cualidades y debilidades, y empleaba esta información cualitativa para tomar decisiones, hoy día, a la hora de decidir, se ignora todo lo que no sean factores simplificados y cuantificables. El empleo del computador parece transmitir el sentimiento de objetividad al análisis, dándole una apariencia de mayor fiabilidad, pero la calidad de esta toma de decisiones puede resultar inferior, incluso cuando puede demostrarse que "económicamente" es superior. La máquina inhumana conduce a una toma de decisiones inhumana. Los factores no cuantificables son desdeñados y parecen carecer de importancia. Además, cuando el problema es muy amplio, como, por ejemplo, el gobierno de un país, parece que es más atractivo tratar de resolverlo empleando una enorme cantidad de datos, como si los datos desnudos pudieran ofrecemos la solución a una situación, cuando lo que hace falta es sabiduría, y no tantos conocimientos cuantitativos. El arte de gobernar y el comercio se han convertido también en una cuestión técnica.

La fiabilidad de la información almacenada en los computadores adquiere la máxima importancia cuando los datos conciernen a personas, es decir, a su historial médico, social, profesional o económico, a su afiliación política o religiosa, o a su estado civil. Estos datos (y muchos otros tipos de información) son confidenciales, de manera que ya no es sólo la fiabilidad del computador lo que tiene que ser salvaguardado, sino también la seguridad del propio sistema. La información deberá protegerse de cualquier alteración —voluntaria o involuntaria— y ser defendida de cualquier acceso no autorizado. Al igual que cualquier base de datos, necesita protección física contra el fuego, el agua, las influencias magnéticas e incluso contra los sabotajes. El lugar de almacenamiento debe ser cuidadosamente vigilado y controlado y, si los datos o los programas son especialmente valiosos, habrá que guardar copias en otro lugar para mayor seguridad. La seguridad de los computadores se ha convertido en un gran negocio, y cuestiones

como el acceso a los datos o el carácter privado y confidencial de los datos personales almacenados en computadores se han convertido en un polémico tema de interés público.

El acceso a archivos confidenciales puede ser controlado mediante la utilización de una serie de contraseñas y códigos apropiados que conocerán sólo las personas que tengan derecho de acceso. En el sistema informático pueden integrarse cierto número de salvaguardas y sistemas de seguridad dobles. La identificación de las huellas dactilares o de la voz podría proporcionar quizá el medio más eficaz para asegurar que sólo los usuarios autorizados tengan acceso a los archivos confidenciales. De cualquier modo, no existe un sistema completamente seguro, y cuando hay dinero u otro tipo de beneficio por medio siempre habrá alguien que encuentre la manera de forzar el sistema. Así pues, los computadores se han convertido en el centro de interés del espionaje industrial, de los desfalcos y del fraude. Las personas que disponen de los mejores medios para abusar de cualquier sistema informático en beneficio propio son los programadores y los operadores de computador, y entre ellos ha surgido una nueva especie de delincuente, aunque de momento a pequeña escala.

Hay dos técnicas que pueden servimos de ejemplo para demostrar cómo puede practicarse el fraude con sistemas informáticos. La primera ha sido denominada "técnica del salami", en alusión a las pequeñas "tajadas" de dinero que van siendo desfalcadas durante un largo período de tiempo. El malversador, que tiene acceso, por ejemplo, a un sistema de cuentas bancarias, abre una cuenta a su propio nombre, y manipula el sistema para que el dinero —ficticio en cierto sentido— que desaparece por el sistema de "redondeo" sea transferido a su cuenta. Así, al calcular por ejemplo los intereses de algún cliente y ser éstos de 853,20 pts., los 20 céntimos que se pierden al redondear son ingresados en la cuenta del malversador en vez de ser despreciados. El malversador no está robando dinero a nadie (excepto quizá al banco) y su cuenta va engrosándose poquito a poquito hasta llegar a alcanzar sumas considerables. Pero aún más insidiosa y más difícil de detectar es

la técnica conocida como la "bomba lógica". El programador incluirá en el programa una sección parecida a ésta:

línea 1565 WHEN (SI) se da una determinada condición, pagar *x* miles de pesetas a la cuenta número 12345. OTHERWISE (O ALTERNATIVAMENTE) pasar a la línea 1567.
línea 1566 DELETE (BORRAR) línea 1565 y 1566.

Cuando el malversador lo crea conveniente, la condición que él mismo ha estipulado puede ser introducida en el programa, con lo que le será abonada en cuenta una suma elevada, al mismo tiempo que se autodestruyen las pruebas que había en el programa. Este tipo de delito informático es muy difícil de detectar, y puede suponer la pérdida de considerables cantidades de dinero. El delito informático suele cometerse a gran escala, implicando a veces fraudes que ascienden a muchos millones de pesetas, y, sin embargo, es bastante frecuente que los delincuentes queden impunes, debido a que las firmas comerciales no quieren hacer público el hecho de que sus sistemas no son seguros a toda prueba. También es frecuente que la propia empresa ayude al malversador a encontrar otro empleo proporcionándole unas excelentes referencias, de manera que ¡podrá volver a las andadas en otra parte!

Los sistemas informáticos, sus programas y sus datos no son seguros precisamente porque concentran información, que es la moneda del presente. Cada vez hay más organizaciones que ponen operaciones en manos del computador, volviéndose casi completamente dependientes de la máquina y haciéndose a la vez más inseguras. Cualquier daño causado a la máquina o a su *software* y datos podría paralizar a una empresa o provocar el caos en un organismo público. Una acción de sabotaje dirigida contra el centro de datos de un banco puede tener como resultado un desbarajuste financiero; la consecuencia de una avería en el sistema informático de reserva de pasajes de una compañía aérea internacional puede ser una horrible pesadilla para los viajeros. De ahí que los operadores de grandes sistemas informáticos sean cada vez más conscientes de la cuestión seguridad: el personal es cuidadosamente vigilado, y cualquier movimiento físico alrededor de las instala-

ciones del computador está controlado y regulado. El personal puede estar obligado a llevar chapas de identificación para abrir las puertas, que a la vez suministran información que permite saber dónde está cada persona. El sistema informático sabe dónde se encuentra cada uno de sus componentes humanos. Y uno no podría facilitarle la entrada a un cómplice tirándole la chapa por la ventana, porque la puerta no se abriría de nuevo ante lo que parecería ser la misma persona entrando otra vez por el mismo sitio. Los edificios de alta seguridad de nuestra sociedad moderna serán los centros informáticos, y estos sitios se están ya convirtiendo en fortalezas autoprotegidas.

Otra de las trampas que podemos encontrar en nuestro laberinto es creer que seríamos capaces de "destripar" una máquina si ésta se convirtiera en una bestia. La máquina sería capaz de defenderse. Imaginemos simplemente a la Bestia de Hopkins buscando su propio suministro de electricidad, pero armada para poder rechazar a cualquiera que intentara interponerse o detenerla en la consecución de su único objetivo. Proyectemos esta imagen sobre un computador que dispone de su propio generador de electricidad conectado a una red, de modo que el computador tiene asegurado el suministro eléctrico para mantenerse en funcionamiento, estando además armado para rechazar a cualquiera que pretenda desconectarlo. Un sistema de este tipo no resultaría difícil de instalar; requeriría simples componentes de *hardware* y *software*. El resultado podría ser aterrador. El "caso HAL" ha dejado de ser sólo un guión de ciencia ficción.

Una sociedad basada en la informática se convierte en una sociedad frágil, fácilmente perturbable y en manos de una pequeña élite de técnicos que podrían disponer de un enorme potencial de poder. Los controladores y operadores de los canales de comunicación podrían ejercer una presión política y social masiva. La tecnología concentra el poder, a pesar de que parece descentralizarlo. La extensión de la red de telecomunicación informática a todos los hogares —como se ha extendido la televisión— parece llevar el poder del computador y de los sistemas de información a todos los rincones de la sociedad. Pero lo que hace en realidad es

reforzar el control de unos cuantos sobre muchos. Cada vez hay más gente que se hace dependiente de sus distracciones, de sus noticias e información, e incluso de las prestaciones para organizar sus negocios o sus tareas domésticas, que les son suministradas por un pequeño grupo de personas que controla y manipula los sistemas informáticos para sus propios fines. Cuanto mayor se vuelva nuestra dependencia de la tecnología (es decir, cuanta más "libertad" nos proporcione la tecnología), más frágil se irá haciendo nuestra sociedad.

La dependencia tecnológica convierte a la sociedad en algo esencialmente inestable. Significa que para poder satisfacer sus necesidades (alimentación, trabajo e interacciones sociales) las personas van a tener que relacionarse con organizaciones que están más allá de los horizontes de su propia comunidad. La infraestructura tecnológica de una sociedad basada en la tecnología desplaza todo tipo de funciones de un nivel local a uno regional, nacional, o incluso internacional. Los alimentos ya no son producidos por la propia comunidad, sino suministrados por la industria agrícola, respaldada por una compleja cadena de procesado y distribución que, a su vez, depende de otras industrias —como, por ejemplo, de la industria petroquímica— que no son estables y que están sujetas a muchos otros intereses. Todos los eslabones de esta cadena tecnológica y económica son débiles, y cuanto más complejo se vuelva el sistema más débil se hará la cadena. Una sociedad estable es capaz de cubrir sus propias necesidades a nivel local, y sólo tendría que obtener del exterior ciertos artículos de lujo. Para una inestable sociedad tecnológica incluso los artículos de lujo son esenciales —puesto que su producción puede ser rentable—, y su único criterio para juzgar el éxito de algo es el progreso económico. Sin embargo, cualquier sistema que necesite crecer para progresar es inherentemente inestable, y la economía que exige una continua expansión es inevitablemente frágil y, también inevitablemente, estará basada en la tecnología.

La inestabilidad de una sociedad que depende de la tecnología se pone de manifiesto también en las restricciones que tiene que imponer a los derechos de sus ciudadanos. Las instalaciones in-

formáticas de alta seguridad —al igual que las centrales nucleares— reducen los derechos de los ciudadanos. La necesidad de proteger la alta tecnología que posee la sociedad se satisface a expensas de restringir la libertad de acción y de movimiento de los ciudadanos. Con la tecnología "blanda" de la informática, la pérdida de derechos se manifiesta principalmente en una pérdida del carácter privado de la información y en la dificultad de descubrir quién tiene qué información, para qué la tiene y sobre quién. Ni siquiera a nivel de país se da una inmunidad. Los satélites espías vigilan tanto a los países neutrales como a los hostiles. Todos estamos globalmente controlados, de forma que se haga lo que se haga, y donde sea, es como si se hiciera en público. En el momento de escribir estas líneas, los países del Tercer Mundo acaban de persuadir a las naciones industrializadas para que les garanticen el derecho a inspeccionar todos los datos que conciernan a su propio territorio que han sido obtenidos por satélite. Gran Bretaña se opuso a ello; Estados Unidos, la URSS, Francia y Japón (países que emplean los satélites) se abstuvieron por completo. Esto no es sólo un signo de los tiempos que corren, sino el reflejo de la actitud de aquellos que poseen la tecnología; quieren conservar el control y el poder, y son reacios incluso a compartir la información que han obtenido con aquellos a quienes atañe.

Una sociedad basada en la información almacena una vasta cantidad de datos, y la difusión de los sistemas de información basados en computadores ha generado una creciente demanda de archivos electrónicos. Se almacena información sobre las transacciones económicas de los individuos, sobre sus historias médicas y del seguro social, y también sobre asuntos relacionados con las autoridades locales: impuestos, crédito, compras a plazos, registro de vehículos, educación, utilización de bibliotecas, historial laboral, fichas policiales... la lista sería casi infinita. Existen registros de cuya existencia no tiene ni idea la gente a quien atañen, y menos todavía de su contenido. La gente no tiene derecho de acceso a la información que se ha recogido y almacenado acerca de ella, ni a comprobar si es correcta, si está completa, puesta al día o, ni siquiera, si es verdaderamente necesaria. En algunos países se han

promulgado nuevas leyes para proteger la vida privada de las personas y para permitir que tengan acceso a algunos de los archivos que les conciernen; sin embargo, en Gran Bretaña y en otros países los gobiernos han ido aplazando la cuestión una y otra vez. Incluso cuando existe una legislación y las personas pueden inspeccionar y confirmar la información que les atañe, no está nada claro si pueden ver todos los archivos que existen en realidad, o si conocen su existencia. La ignorancia hace que la gente se mantenga en una situación de sumisión.

Como cualquier otro tipo de datos, también la información personal puede ser almacenada de forma incorrecta o incompleta. Así, por ejemplo, muchas personas han tenido que esperar bastante tiempo para que un sistema informatizado cambiara su dirección por cambio de domicilio. Naturalmente, esto no es más que el resultado de una mala gestión, pero cuando un sistema se hace excesivamente complejo es más probable que se dé este tipo de casos, en los que se manifiesta su ineficacia, y que los problemas individuales sean más difíciles de solucionar. Las instituciones siempre han dispuesto de ficheros que contenían detalles sobre la vida privada de las personas, pero hasta hace poco estos registros no estaban centralizados y su escala era local y razonablemente manejable. El sistema de archivos antiguo puede parecer menos eficiente desde el punto de vista de un ejecutivo que quiere buscar un expediente determinado (aunque no siempre es así), pero desde el punto de vista de la persona a quien pertenece el expediente, el sistema antiguo era más accesible y más fácil de comprobar y enmendar. También era más seguro. Sin embargo, aunque es posible que alguien que se lo proponga robe una carpeta de un archivador metálico —y también puede suceder que sea colocada en un lugar equivocado, o que se pierda—, en circunstancias normales no es fácil que una persona no autorizada tenga acceso al archivo. Pero esto no es lo que ocurre con los archivos informatizados.

El principal problema en cuanto a la cuestión de la confidencialidad en los archivos electrónicos es que según va creciendo el sistema hay más computadores que se “comunican” con otros computadores, con lo que cada vez resulta más difícil mantener el

carácter confidencial de los datos; los datos son utilizados de manera impersonal y nadie se hace responsable de ello. Al conectarse los computadores a una red de difusión nacional, resulta factible para cualquiera tener acceso a enormes bancos de datos. En Estados Unidos, unos estudiantes universitarios descubrieron el modo de forzar estos sistemas, de modo que no sólo podían tener acceso a los archivos, sino también borrarlos o alterarlos. Este ejemplo, que no es más que un caso entre muchos, ha sido descrito por el Stanford Research Institute como ejemplo de "el problema de seguridad más grave que presentan los computadores". Solamente el conocimiento de este problema plantea ya cuestiones legales y éticas: ¿debe responsabilizarse a los fabricantes de la vulnerabilidad de los sistemas? ¿Debería un instituto de investigación responsabilizarse de avisar a todos los usuarios que puedan ser afectados? El conocimiento de tales técnicas, ¿debe hacerse público, o mantenerse en secreto?

Imaginemos una compañía financiera a la que alguien ha solicitado un crédito. Por supuesto, es perfectamente correcto que la compañía investigue cuál es la situación económica del solicitante y las posibilidades que tiene de poder devolver el préstamo. Sin embargo, un acceso relativamente fácil a otras fuentes de información, como, por ejemplo, su historia médica o su ficha policial, puede influir —bastante injustamente— sobre la decisión de conceder o no el crédito. La denegación del préstamo no estaría entonces basada en la información que ha facilitado —presumiblemente con toda honestidad— el propio solicitante. De manera similar los candidatos para un empleo pueden ser "investigados" consultando los registros existentes sobre su vida, que son desconocidos por los interesados y que, por tanto, no pueden ser objetados. Esto no sería nada bueno, aunque los datos fueran correctos, pero en el caso de que los datos fueran erróneos o falsos sería una gran injusticia. Se conocen casos de compañías financieras que denegaron créditos basándose en que los solicitantes vivían en una zona de "alto riesgo". Aunque se acepte la solvencia económica de una persona, si sus vecinos están en mala situación, su solicitud puede ser denegada a consecuencia de esto. Después, si

esta misma persona se presenta como candidato a un empleo —por ejemplo, como cajero en una tienda—, el dueño puede investigar su situación económica de manera subrepticia, para no contratar a un potencial malversador. Así, por culpa de una información engañosa pueden cometerse errores de juicio, contra los que es imposible defenderse.

Es muy fácil almacenar información en un computador, pero es algo tan impersonal que puede dar lugar a que surja otro tipo de problemática. Imaginemos un fichero policial. Llevar un fichero electrónico de delincuentes, sospechosos y "con antecedentes policiales" (entre los que pueden contarse también médicos o abogados, además de granujas), en lugar de llevar un registro escrito, fomenta un sistema impersonal con sus correspondientes consecuencias inhumanas. Cuando un policía detecta algo sospechoso, o nota un comportamiento extraño o incluso cuando toma nota de los nombres de las personas que se encuentran en un club durante una redada antidroga, él es personalmente responsable de sus anotaciones y puede utilizarlas después como una *aide-mémoire* para reconstruir el suceso al que se refieren. Esta misma información metida en un computador puede ser "leída" por otros muchos policías, y puede ser tratada como "datos objetivos" sin ser asociada a una realidad que en el recuerdo resulta mucho más compleja. El nombre de una persona puede ser archivado en el computador de la policía sin su conocimiento y sin que haya cometido ningún delito, o incluso sin ser sospechoso de nada. Un testigo de un accidente, o una persona inocente que se encontraba en el lugar donde se realizó una redada antidroga, podrían quedar marcados con "antecedentes policiales". Uno de mis colegas, que por su profesión está relacionado con el sistema de libertad provisional, se llevó una gran sorpresa cuando se enteró de que estaba "fichado" en el computador de la comisaría local. Aunque la información sea correcta, si se puede tener acceso a ella de forma irregular, existe el peligro de que se abuse de la información.

La posibilidad de alterar o borrar las fichas de otras personas puede causar no sólo un incremento de los delitos informáticos, sino también toda una gama de abusos económicos, políticos o

personales. Una buena jugarreta informática que podrían gastar unos jóvenes que dispusieran de un terminal de computador conectado a una red de información podría consistir en poner enormes fortunas en las cuentas corrientes de personas modestas y hacer que las de los ricos presentaran grandes saldos negativos. Sus profesores podrían descubrir de repente que estaban fichados como delincuentes con todo detalle, o encontrarse con que habían muerto ya hace tiempo de un cáncer de pulmón. Los fraudes a las compañías de seguros —ya populares como una de las formas de delito informático— pueden practicarse con mucha más facilidad si es posible alterar los datos de los registros; y también sería más fácil hacer chantaje. Quizá la forma más siniestra de utilizar los sistemas de archivo de datos por computador consista en espiar el comportamiento de la gente para algún tipo de "servicio de inteligencia".

Existe una gran cantidad de información acerca de muchísima gente, y gran parte de esta información se halla archivada en bancos de datos relativamente accesibles. Una persona que se dedicara a reunir esta información podría construir un retrato asombrosamente detallado de cualquier individuo y de su vida. Sólo el acceso a su ficha bancaria podría revelarle una gran cantidad de detalles: aparte de sus transacciones financieras en general, los datos sobre sus órdenes de pago regulares podrían revelamos a qué organizaciones, grupos religiosos, partidos políticos, clubes, etc., pertenece esta persona. Si estuviera asociada a algún club de libros o discos, podríamos incluso descubrir sus gustos literarios o musicales. Sus lecturas también podrían ser controladas a partir del sistema bibliotecario informatizado que utilizase. El sistema de compras informatizado, en el que se pagaría mediante el sistema de transferencia electrónica de fondos, permitiría reconstruir todas las compras efectuadas por esta persona. El archivo de la compañía de seguros nos podría dar detalles de las comodidades y bienes de que dispone en su hogar, de los vehículos que posee, etc., e incluso de su propensión a los accidentes. Los registros de sanidad, seguridad social y educación nos facilitarían una información detallada sobre la persona y su familia. En un hogar completamente informatizado,

centrado en tomo al computador, cualquier clase de información privada sería accesible. La intimidad quedaría reducida a su mínima expresión. Las cajas registradoras electrónicas siempre se han utilizado para controlar la eficiencia de los cajeros, y cada pieza de tecnología basada en el chip es capaz de desarrollar una similar función de control. Un sistema de televisión por cable que permita una comunicación bidireccional entre el hogar o la oficina y las redes de comunicación de los centros de información y recreo, puede proporcionar los medios para controlar continuamente quién ve qué, y cuándo. La predicción de George Orwell («el Gran Hermano te está viendo») en su libro *1984*, no estaba muy desencaminada. En vez de ser vigilados por un ojo omnividente, podemos ser controlados con igual eficacia al utilizar cualquier terminal de la red electrónica de telecomunicaciones, los canales dúplex de televisión o los sistemas informáticos. Esta tecnología es casi igual al mecanismo que utiliza el Gran Hermano de *1984*. Es una tecnología para el control.

La escucha de conversaciones telefónicas —que es algo que se ha estado haciendo durante décadas— se vuelve también mucho más fácil con los aparatos basados en el chip. Hace ya algunos años que las llamadas telefónicas y de télex son sistemáticamente controladas; actualmente los organismos públicos están desarrollando sistemas para el reconocimiento electrónico de la voz que harán posible que estos procedimientos sean empleados a una escala mucho mayor. La máquina de "escucha" priva a la gente incluso de la intimidad de una conversación, siempre que se trate de una conversación mantenida por un medio tecnológico. ¡Recordemos que en *2001* HAL era capaz incluso de leer los labios!

Pero no hay por qué detenerse en las llamadas telefónicas. Ya se han hecho experimentos para controlar los movimientos de personas que llevaban un zumbador electrónico. Así, podría ofrecerse a los condenados por delitos de poca gravedad una alternativa a la cárcel, colocándoles una argolla soldada alrededor del tobillo que contuviera un transmisor de este tipo, de forma que sus señales fueran detectadas y analizadas por una red de pequeños computadores. No existen impedimentos técnicos para que este

sistema se utilice para controlar los movimientos de cualquier vehículo de motor, o incluso los de todas las personas de una sociedad. La tecnología es perfectamente capaz de conseguir tal grado de control social; puede hacer de la intimidad un concepto que ha pasado a la historia.

De esta y de otras formas, los sistemas informáticos interconectados proporcionan los medios apropiados para que ciertos grupos se dediquen a investigar y espiar las vidas privadas de las personas que, por un motivo u otro, deseen controlar. Cualquier cosa que se haga a través de una conexión por cable, teléfono o satélite, cualquier información transmitida a través de un terminal, puede ser objeto de control. En este sentido, las fantasías de los escritores de ciencia ficción se están haciendo realidad con una rapidez notable. Lo que puede ser supervisado puede ser controlado. Creando una mayor dependencia de las máquinas y de los canales de comunicación basados en las máquinas, aquellos que generan los sistemas adquieren un control cada vez mayor. La televisión por satélite, por ejemplo, permite ampliar el control a través de las imágenes, noticias y opiniones, a un número mayor de personas. Actualmente los que conquistan imperios son aquellos que tienen el control de la tecnología de control. Este laberinto se compone de pasadizos, todos iguales.

Hay muchas elecciones personales que nos son dictadas por la tecnología a que tenemos acceso. El estilo de vida puede estar cada vez más determinado por aquello que nos es asequible, más que por lo que decidimos por nosotros mismos. Casi toda la tecnología, y especialmente la nueva tecnología, va acompañada por la publicidad más sofisticada, de manera que cada vez resulta más difícil separar lo que una persona quiere en realidad, de su trasfondo de tecnología imperialista. También la tecnología de la información, aparentemente más suave y efímera, influye en la elección. El tipo de información y el modo en que es manipulada y controlada, determina en alto grado lo que la gente elige. La idea contenida en la frase “divide y vencerás” describe exactamente la manera en que se utiliza la tecnología, especialmente la tecnología de la información. El teléfono proporciona a la gente la “libertad” de hablar con

cualquier otra persona conectada a la red, pero a costa de reducir la interacción humana a una interacción entre sus voces. El control social se adquiere separando a las personas unas de otras al interconectarlas mediante las tecnologías; tecnologías que están al servicio de los que las controlan, no de la gente.

De este modo se destruyen las comunidades tradicionales y se dispersa a la gente. La sociedad tecnológica depende de que se olviden las necesidades más simples de las personas para hacerlas dependientes de necesidades, esenciales y artificiales, producidas por la tecnología.

Este imperialismo se extiende por todo el mundo, porque por todo el mundo se extiende la red de la tecnología. Hacer llegar programas educativos de televisión a las aldeas de la India o de África puede parecer muy progresivo, pero en realidad es una manera de imponer a la gente —que no está preparada para ello— imágenes y conceptos que se derivan de otra cultura. No importa lo que se enseñe mediante esta tecnología, ni importa la participación que tenga la población "local" en la programación: el dispositivo en sí tiene una carga cultural inseparable de su contenido. El pueblo universal que comentaba McLuhan es un concepto que surge de una sociedad de alta tecnología. Según esta sociedad se va extendiendo por todo el mundo, el pueblo de la Tierra se va unificando como una sociedad altamente tecnológica; las características locales, las necesidades reales de la gente y su manera de expresarse se van sumiendo en una apariencia impersonal, blanda, sin espíritu propio y orientada hacia la máquina.

En los países desarrollados y sofisticados, la educación (incluyendo la aceptación y la adopción de nuevas tecnologías) puede ser también un instrumento de control social. El concepto de educación para el ocio significa en realidad condicionar a la gente para que acepte la sustitución del trabajo humano por máquinas. Recordemos las palabras de Rada, citadas en el capítulo anterior: «... Mientras la población trata de adaptarse a...», que implican que la propia tecnología electrónica forzará a la gente a aceptarla, y que la gente se ajustará por muy radical o inhumano que esto resulte. El progreso tecnológico es descrito siempre como algo inevitable,

imparable. Su poder para controlar, para dominar a pueblos enteros rara vez es desafiado.

¡A esto se reduce la democracia! Si la vida de la gente está gobernada por no electos controladores de tecnología, las libertades que garantiza la democracia están completamente minadas. Si los gobiernos son impotentes frente a una tecnología que avanza continuamente, su elección es sólo una cuestión de detalles o de estilo, puesto que su poder es sólo nominal y está sujeto a la voluntad de los tecnócratas. ¿Quién ha votado por el teléfono, por la televisión, o por el microprocesador? ¿Quién ha elegido ceder su puesto de trabajo a las máquinas? La libertad de poder apretar uno u otro botón del televisor, ¿nos compensa del hecho de que las imágenes de todos los canales estén programadas por personas que persiguen sus propios intereses, y no los nuestros? ¿Quién decidió hacer videojuegos llenos de violencia, como los invasores del espacio o la guerra de las galaxias? ¿Es que la idea de democracia es "vendida" como un concepto tecnológico por aquellos cuyas tecnologías "dividen y vencen"? ¿Quiénes nos proporcionan la democracia, y ante quién son responsables?

Hay que tener en cuenta estas cuestiones, al igual que todos deberíamos plantear preguntas acerca de la información que se almacena sobre nuestra persona. ¿Quién la quiere y por qué razón? Sería fácil ponerse a especular con la idea de una gran conspiración planeada para hacernos caer a todos en manos del complejo industrial/militar. La sustitución de los seres humanos por máquinas en el proceso de producción, y la innecesariedad de seres humanos en el proceso de organización social, da toda la impresión de ser una espantosa obra de ingeniería social. Pero no voy a ponerme a especular en este sentido, porque sospecho que lo que parece una conspiración es un juego que ha salido mal. Los sinuosos y enrevesados pasadizos de la red informática nos han rodeado por completo. El juego ha superado sus propios límites y nos ha dejado en el "límite del ingenio", sin saber dónde estamos o a dónde queremos ir. La cuestión ahora es si podemos escapamos desconectando la máquina que ha originado nuestro dilema, o si

estamos atrapados en un laberinto de pequeños y enrevesados pasadizos que nosotros mismos hemos construido.

10. El fruto prohibido

El desarrollo de las tecnologías está siempre motivado, al menos en parte, por el deseo de controlar la naturaleza y superar las limitaciones que ésta impone a los seres humanos. Desde hace ya doscientos o trescientos años se cree comúnmente que el método científico es el medio más eficaz de que dispone el hombre para conquistar la naturaleza y, en el siglo XX, la aplicación de la ciencia a una creciente variedad de problemas ha conducido a una situación en la que las cuestiones de mayor relevancia que están siendo abordadas son precisamente las que se refieren a la "vida" y a la "mente". El reciente advenimiento de la ciencia y tecnología de la ingeniería genética ha abierto numerosas cuestiones en tomo a la "creación de la vida" en el laboratorio y en tomo a la alteración de las formas de vida por manipulación científica. Parte de la metodología y del pensamiento que se esconde detrás de estas investigaciones no es otra cosa que el clásico reduccionismo, es decir, que mediante la disección y posterior reconstrucción de cualquier cosa puede lograrse la comprensión de la misma. En realidad, tal punto de vista no es más que una parodia del conocimiento, lo que se pone de manifiesto con más fuerza en los científicos dedicados a investigar la vida y el fenómeno —igualmente nebuloso— de la mente.

El tema de la "mente" o de la "inteligencia" suele ser enfocado desde un punto de vista pragmático, mediante el siguiente argumento: si es posible construir un sistema que muestre las características deseadas, entonces el sistema posee las propiedades necesarias para producir tales características. Si una máquina es capaz de imitar una función humana, puede decirse que se comporta de forma humana, al menos en parte. Este enfoque conductista se halla bastante difundido en círculos informáticos, y su aplicación se traduce en una reducción de las funciones humanas a sus elementos cuantitativos, ignorando tanto la complejidad de la interac-

ción entre las diferentes partes que componen la totalidad de una persona, como la existencia de aspectos más elevados de la condición humana que no pueden ser cualificados. La falacia de tal argumentación queda ilustrada patéticamente en el clásico cuento infantil "El ruiseñor y el emperador", en donde se muestra que la imitación de la realidad, por muy sofisticada que sea, nunca puede igualar la genuina belleza del ser vivo que intenta parodiar.

El objetivo de la ciencia y la tecnología de los últimos años de nuestro siglo XX es conquistar completamente la naturaleza, y se manifiesta en un entorno totalmente artificial y controlado.

Incluso las que se suponían últimas fronteras ya están siendo abordadas en las instituciones dedicadas a la investigación de ingeniería genética y en los laboratorios de alta tecnología informática. En las primeras se investiga y se manipula la misma esencia de la vida; en los segundos se están desarrollando los medios para ejercer un completo control intelectual de este mundo artificial. Mientras que la genética trabaja de abajo a arriba, tratando de ensamblar las piezas más elementales para construir entes completos y con vida, los investigadores de la informática empiezan por arriba, intentando imitar el funcionamiento de la "mente". Los puntos de contacto entre estos dos campos de la investigación son numerosos. Así, por ejemplo, ambos tienen que ver con la información. En informática, la "inteligencia" es tratada como la capacidad de procesar y analizar información, y en genética, la molécula del ADN —la base bioquímica del código genético— es vista como un sistema de información.

En ambos campos se persiguen determinados resultados: crear un organismo que presente ciertas propiedades, y producir un sistema que "piense". También en ambos campos de investigación se asume que la vida no es más que la interacción funcional de las partes de un organismo, y que la mente no es otra cosa que el funcionamiento electroquímico de un computador orgánico. Ninguna de estas ciencias reconoce la existencia de facultades trascendentales en el hombre.

La inteligencia artificial y las nuevas especies, ambas creadas por la ciencia y la tecnología, son las metas de estas investigacio-

nes. Las propias tecnologías están intentando jugar a ser Dios, redefiniendo el mundo en sus propios términos, intentando manipular los procesos de la vida y de la mente, y tratando de ejercer un absoluto control sobre sus propias creaciones. Esta aspiración ya se predice en el libro del Génesis, cuando Dios prohíbe a Adán y Eva comer del árbol de la ciencia, pues hacerlo sería ser como Dios. Nuestra ciencia ha llegado ya a tales extremos en la manipulación de la naturaleza que nuestros científicos y tecnólogos han ido demasiado lejos; han comido del fruto prohibido. Sin embargo, lo irónico de la situación es que los frutos de su trabajo no reflejan una visión edificante de la dignidad del hombre, sino una imagen de una mediocridad tal, que no es de extrañar que se establezca una comparación entre el hombre y la máquina.

La "inteligencia artificial" ha sido descrita como «algo que hace más listos a los computadores» (B. Raphael) —que es una descripción simplista, aunque realista— y, más pomposamente, como «el desarrollo de una teoría sistemática de los procesos intelectuales» (Michie). Margaret Boden prefiere la definición que da Minsky, por ser menos contenciosa: «La inteligencia artificial es la ciencia que hace que las máquinas realicen cosas que de haber sido hechas por el hombre requerirían inteligencia»; lo que no es más que otra versión del argumento conductista. El significado que ella da a este término abarca «toda investigación sobre máquinas que sea importante de algún modo para el conocimiento y la psicología humanos». La conexión entre psicología e inteligencia artificial no es sorprendente, puesto que es a través de la psicología como hemos llegado a definir (y limitar) lo que significa la inteligencia humana, y tal concepto, integrado en las máquinas, está siendo usado como sistema de reaprovechamiento para la exploración de toda una variedad de modelos psicológicos.

Gran parte del trabajo de investigación que se está desarrollando en tomo a la inteligencia artificial está estrechamente vinculado con la psicología. Los intentos de descubrir teorías generales para la resolución de problemas, y la comprensión de las bases del lenguaje natural constituyen quizá los principales campos de investigación. Sin embargo, en mi opinión, todo el enfoque global

está basado en una visión muy limitada de la naturaleza de la inteligencia y de los seres humanos. Basta con comparar la concepción de Homero, la inteligencia como don del cielo, con la de los modernos psicólogos, «la inteligencia es lo que miden los test de inteligencia», para comprender la limitación del punto de vista moderno La meta de todos estos trabajos de investigación es también grandiosa. Estos dos puntos de vista son puestos de manifiesto en una declaración hecha por el profesor John McCarthy, de la Universidad de Stanford: «La única razón por la que todavía no hemos logrado formalizar todos los aspectos del mundo real es que hasta ahora hemos carecido de la suficiente capacidad de cálculo lógico.» El deseo de abarcar todo conocimiento posible es ciertamente grandioso, e ingenuamente simplista, pero la idea de que el mundo real puede ser "formalizado" mediante "cálculos" es parte de la falacia generalizada y ampliamente difundida en las ciencias. Debido a que puede establecerse una aproximación matemática del comportamiento de determinados fenómenos físicos, se asume ridículamente que la totalidad del mundo real está fundada en una poderosa fórmula; cuando lo cierto es que el mundo es complejo y único, y escapa a toda descripción.

De todas formas, utilizar la inteligencia artificial como un campo en el que pueden simularse o superarse ciertas funciones humanas produce poderosos —y probablemente útiles— resultados. Está claro que los computadores pueden procesar ciertos tipos de información con mucha más rapidez y exactitud que las personas, pero no es válido describir este funcionamiento como inteligencia, incluso cuando el programa prosigue con la evaluación de sus propios cálculos de acuerdo a determinado criterio. Se debería considerar el pensamiento inteligente, al menos, como la determinación de las exigencias de una situación a la luz de las percepciones individuales, de la educación, de los factores culturales y ambientales y, por tanto, de toda una gama de experiencias y circunstancias personales, que es lo que hace de una persona algo más que una "simple máquina". Mientras los computadores no hayan sido desarrollados hasta este punto no se les puede calificar de "inteligentes".

Por supuesto, ya se han desarrollado programas altamente sofisticados que permiten a las máquinas "aprender" e incluso "generar" sus propias salidas. Hay programas que pueden simular el lenguaje y dar la impresión de que "conversan" con la gente. Del programa de K. M. Colby podemos tomar un ejemplo de este tipo de conversación {las "salidas" de la máquina aparecen en mayúsculas):

—¡Te odio, máquina estúpida!
—¿Y QUÉ ES LO QUE NO TE GUSTA DE MÍ?
—Que no tienes sentimientos.
—¿A QUÉ TE REFIERES?
—A que no puedes experimentar lo que yo experimento, porque no eres más que una máquina.
—CUÉNTAME MÁS COSAS SOBRE ESTE TIPO DE SENTIMIENTOS.
—No estamos comunicados.
—ESTOY INTENTANDO LA MEJOR MANERA DE COMUNICAR CONTIGO.
—¿En serio?
—¿A TI QUÉ TE PARECE?
—Creo que estás hecha un lío.

Sin embargo, sería erróneo considerar que este tipo de programas hace algo más que manipular símbolos de acuerdo con alguna particular teoría. Tanto los psicólogos como los científicos de la informática argumentarán que eso es precisamente lo que hace el hombre, sólo que con una base más compleja. Semejante punto de vista ignora la complejidad de factores individuales que cada persona aporta a cada situación. En cambio, cada máquina cuenta sólo con su programa, que, en realidad, no cambia nunca. Pero incluso cuando llegue el tiempo en que las máquinas sean capaces de modificar su propio programa según sus propias percepciones (obtenidas mediante miembros mecánicos, ojos-cámara de TV, etc.) y experiencias, seguirán sin poseer una inteligencia humana; serán máquinas inteligentes.

Sin embargo, esta clase de especulaciones son en sí mismas un reflejo del modo en que la investigación en inteligencia artificial intenta redefinir el mundo, de una manera que va absolutamente en

contra de todos los valores que consideramos en el capítulo primero. La inteligencia de las máquinas, que debemos siempre diferenciar de la inteligencia humana como algo distinto, ajeno, no es un don del cielo, ni está asociada a la facultad humana de discernir el bien del mal y de percibir lo espiritual. El computador puede tener un cerebro, pero nunca tendrá un corazón. La inteligencia de la máquina, si se llega a hacer realidad, será sólo razonamiento mecánico.

La máquina razonable y racional puede simular perfectamente muchas cualidades que los seres humanos admiran y tratan de alcanzar, pero esto encierra un peligro que Weizenbaum pone de manifiesto. Este autor ha manifestado que no sería ético asignar a una máquina una tarea que debiera encomendarse a un ser humano por estar relacionada con la condición humana. El ya citado profesor McCarthy preguntaba una vez: «¿Qué pueden saber los jueces que no podamos enseñar a un computador?» A cierto nivel (en términos de razón pura) la respuesta sería "nada"; pero a otro nivel (el de la condición humana) la respuesta sería abrumadora: "todo". Aparte de lo lista que pueda llegar a ser la máquina racional, nunca será un ser humano, y su experiencia siempre estará ligada a su condición de máquina.

Margaret Boden cree que la inteligencia artificial contribuirá a «*contrarrestar* la sutil influencia deshumanizadora de la ciencia... demostrando... cómo es posible que los seres psicológicos tengan sus fundamentos en un mundo material y aun así puedan ser perfectamente distinguidos de la "mera materia"». Y puede hacer esto —según ella— reconciliando las descripciones mecanicistas de la ciencia con la experiencia subjetiva de los seres humanos. Mi respuesta a tal concepción se basa de nuevo en la artificialidad de la inteligencia mecánica: utilizar la máquina como guía para entender cómo es el ser humano es negar la riqueza de la experiencia humana y la sabiduría alcanzada por la humanidad, y rebaja nuestra visión de lo que es ser persona al reflejarnos en una máquina como en un espejo. Los argumentos de Margaret Boden dejan al margen de toda consideración la dimensión espiritual del hombre.

En la psicología moderna esta dimensión queda reducida junto a otras cualidades —en el mejor de los casos— a sólo un particular y concreto estado psicológico. La psicología que está vinculada a los computadores también forma parte de la ciencia reduccionista.

La investigación en el campo de la inteligencia artificial progresa rápidamente. Se informa de que se está trabajando en numerosos proyectos, y una de las áreas de investigación más importantes es el reconocimiento de formas, y especialmente el reconocimiento del lenguaje. El análisis del lenguaje y su traducción, así como toda el área de los sistemas expertos y de los sistemas de indagación automática, constituye un vasto campo para la investigación a nivel tanto teórico como práctico. Se están realizando también grandes esfuerzos en la investigación de formas avanzadas de robótica, con máquinas que han sido diseñadas para "aprender" y "experimentar" mediante el análisis de lo que "sienten" por medio de sus ojos-cámara de TV, de sus miembros "sensibilizados", etc. Los robots de propósito general, a los que es posible enseñar y hacer desempeñar cualquier tarea, serían, naturalmente, mucho más útiles que máquinas dedicadas a un tipo determinado de función. Incluso se ha llegado a proponer nuevas formas de tecnología electrónica cuyo funcionamiento se asemeja más al de las neuronas biológicas que al de los cables telegráficos. Un avance de este tipo podría tener un impacto asombroso sobre las futuras tendencias de la industria microelectrónica y sobre las investigaciones en máquinas inteligentes.

Actualmente se están diseñando nuevas generaciones de computadores que sustituirán a las máquinas del presente, haciendo de ellas piezas de museo. La denominada quinta generación de computadores, que está siendo diseñada en estos momentos, se basará en las más avanzadas técnicas de inteligencia artificial. El objetivo de sus diseñadores es producir máquinas ultrasofisticadas que puedan "charlar" libremente con la gente, interpretar el lenguaje natural para evitar así los actuales problemas de programación, y además ser capaces de realizar las funciones que sus usuarios deseen. Junto al desarrollo de estas investigaciones se está produciendo en círculos informáticos una consciencia cada vez

mayor de que las máquinas deben ser cada vez más fáciles de manejar por el usuario (ser más "amables con el usuario", traduciendo literalmente la expresión inglesa[13]); es decir, hacer que la interacción hombre/máquina sea lo más fácil y "natural" posible. En 1958, Herbert Simon y Allen Newell, de la Universidad de Carnegie-Mellon, de Pittsburgh, declaraban: «Ya hay en el mundo máquinas que piensan, que aprenden y que crean. Más aún, su habilidad para hacer esto va aumentando rápidamente, hasta que en un futuro ya visible la gama de problemas que puedan manejar será de igual extensión que la gama a la que se puede aplicar la mente humana.»

Se podría argumentar que tal afirmación no es más que propaganda y que podría haber sido hecha igualmente en 1983. Quizá es un reflejo del escaso progreso logrado en el desarrollo de la máquina que "piensa" en los últimos veinticinco años, pero el deseo que en ella se expresa está a la altura de las ambiciones de los diseñadores de las máquinas de la "quinta generación". Al igual que la ingeniería genética tiene como objetivo producir nuevas especies, los investigadores de la inteligencia artificial tienen como meta crear la máquina altamente inteligente.

La máquina ultra inteligente (UIM = *Ultra Intelligent Machine)* fue postulada por primera vez por Jack Good, que trabajó con Michie bajo la dirección de Alan Turing en el proyecto del Colossus, en Bletchley Park. La UIM no es más que una extensión de la idea de una máquina tan inteligente como el ser humano. Si puede construirse una máquina así, argumenta Good, con un poco más de esfuerzo se podrá también fabricar una máquina más inteligente que los seres humanos. La UIM, por definición, sería capaz de llevar a cabo cualquier actividad intelectual, superando —al menos por cierto margen— a cualquier persona. Naturalmente, una vez construida, esta máquina sería capaz de diseñar otras máquinas más inteligentes aún, y este proceso podría continuar hasta que los hombres vivieran «en los intersticios de incomprensibles organis-

[13] *User friendly*.

mos electrónicos increíblemente inteligentes, como pulgas en el lomo de un perro», según la expresión de Donald Michie.

Llegados a este punto, merece la pena volver sobre el tema de la naturaleza de la inteligencia. Christopher Evans nos propone una definición al respecto: la capacidad de un sistema de adaptarse adecuadamente a un mundo cambiante; y para hacer esta definición más específica analiza seis factores esenciales en los que se basa esta concepción de la inteligencia. Estos factores son: la capacidad de percibir o recoger información sobre el mundo exterior, la capacidad de almacenar dicha información, la rapidez en el procesado de los datos, y todo ello unido a la flexibilidad, la eficacia y la amplitud del *software* integrado en el sistema. Esta descripción de la inteligencia da por supuesto que el *software* es en esencia un código "escrito", incluido en un organismo bioquímico de modo parecido a como se coloca un programa en un computador. Esta inteligencia es monovalente y puede ser graduada, por ejemplo, en una escala en donde las rocas tengan un coeficiente (IQ) de 0 (cero), los peces de 100.000, y las personas de 1.000.000. Sobre esta escala Evans asignó a los computadores un IQ de aproximadamente 3.000, por encima de la tenia, pero ¡por debajo de una tijereta! Sin embargo, Evans afirma que los computadores *evolucionarán* muy rápidamente a lo largo de esta escala cuando se liberen del lastre que supone depender de una serie de programas que les permita moverse, sentir, repararse a sí mismos, o disfrutar de la comida, de la bebida, o de otros placeres sensuales, como tomar el sol o hacer el amor. Indudablemente, una característica de la inteligencia humana es que abarca todas estas cosas. Evans intenta separar la *inteligencia* de la "coordinación psicomotriz" y la "tarea principal de mantener a un organismo complejo vivo y activo", de manera que en realidad se está refiriendo, no a la inteligencia, sino a la capacidad del organismo de razonar. El argumento de Evans nos proporciona otro ejemplo de cómo se puede definir una cualidad humana significativa en unos términos que permitan que los computadores sean dotados con esa cualidad. La diferencia entre una persona y una tijereta, en cuanto a la inteligencia, no está en nuestra superioridad para adaptamos a un mun-

do cambiante, sino en ver una amplia gama de significados en los acontecimientos de nuestras vidas. Si excluimos de la noción de inteligencia la percepción de significados, entonces deberíamos excluir también las ideas de intuición, imaginación, creatividad (excepto en un sentido muy limitado), lo poético, lo femenino y lo místico. Un concepto tan degradado de inteligencia, que se deriva de reflejar al hombre en la tecnología de la informática, equivale a rechazar todo aquello que nuestra cultura e historia han valorado. El mundo es redefinido de una manera infrahumana.

De forma similar se distorsionan o se redefinen otras cualidades. Una de estas cualidades es la capacidad de seducir, de hechizar, de fascinar y hacer "magia". El profesor Alan Newell decía en una de sus conferencias:

«Las pequeñas cajas misteriosas que nos calculan los impuestos; los frenos que saben cómo detener el coche cuando se desliza sobre un pavimento húmedo... instrumentos capaces de conversar con sus usuarios... puentes que velan por la seguridad de los que los cruzan... farolas que cuidan a las personas que se sitúan debajo y que saben el camino, de modo que nadie puede perderse. En resumen, la tecnología informática nos ofrece la oportunidad de dotar de comportamiento inteligente a cualquier cosa en cualquier rincón del mundo; con ella podremos construir un mundo encantado.»

Lo que Newell quiere decir con "encantado" es en realidad técnicamente sofisticado, y no mágico, desde luego (excepto en el sentido de "truco" de ilusionismo electrónico). Esta cita ilustra la confusión entre lo que Heinz Zemenek llama tipo n.° 1 y tipo n.° 2 de mundo. El mundo tipo número 1 es el mundo real, el mundo humano en el que vivimos. El mundo número 2 es el mundo formalizado, el mundo lógico de las descripciones científicas. Es un mundo teórico basado en abstracciones, ecuaciones y secuencias de símbolos que presenta a menudo un desesperante contraste con el mundo que conocemos y en el que vivimos. El problema con los computadores, que operan dentro del formulismo del tipo 2 de mundo, es la facilidad con que los antropomorfizamos, atribuyéndoles cualidades que pertenecen al mundo tipo 1 y que en realidad no poseen. La cita de Newell sirve para ilustrar esta tendencia. La

asignación de cualidades que pertenecen al tipo 1 a objetos del tipo 2, es la causa de la mayor parte de las confusiones que hemos señalado; entre ellas, la discusión entre profesionales del tema de la inteligencia artificial en términos de pensamiento humano.

La cuestión de la voluntad y del propósito entra también dentro de esta confusión. Términos como "saber", "velar" o "cuidar" —que aparecen en el párrafo anteriormente citado— son empleados en el sentido humano. "Saber" algo es diferente de "tener conocimientos almacenados" en un sistema. Conocer implica consciencia y autopercepción (en cierto grado) y, desde luego, "cuidar" supone la existencia de toda una gama de atributos humanos que incluyen también la capacidad de amar. Hablar de farolas que "cuidan" de las personas no es sólo aplicar inadecuadamente un término humano a un instrumento técnico —o sea, confundir el mundo tipo 2 con el mundo tipo 1—, sino también establecer una absurda comparación entre una máquina y una persona en perjuicio de la persona. "Cuidar" no sólo supone "inteligencia", sino también la existencia de emociones humanas, entre las que se incluye el deseo de relacionarse y ayudar a otros seres. Hay bastante diferencia entre querer hacer algo y haber sido diseñado para hacerlo. Un aspirador no "quiere" limpiar el suelo, ni siquiera aunque sea automático, pero lo limpia cuando está sucio o cuando alguien se lo ordena. Hacer que la máquina responda a la pregunta "¿por qué has hecho esto?" diciendo "porque he querido" no significa que la máquina tenga una voluntad propia ni que autodetermine sus propósitos, sino simplemente que la máquina ha sido hecha para ser "amable con el usuario".

Se ha llegado a sugerir que los computadores más inteligentes necesitarán tener algún tipo de mitología o religión incorporada para ser capaces de autodeterminar sus propósitos con una orientación moral adecuada. Semejantes sugerencias presuponen que los mitos y la religión son meramente "necesidades psicológicas" y no verdades sobre la realidad; y no es de extrañar que esta actitud se derive de una visión tecnológica del mundo que es capaz de imaginar computadores ultrainteligentes que compitan con los seres humanos y lleguen a superar todas las fundones humanas. La idea

viene ya de las historias de *Yo, Robot,* de Isaac Asimov, y las "leyes de la robótica" son ya bien conocidas. En ellas se establece que un robot no debe dañar nunca a un ser humano ni, por inactividad, permitir que un ser humano sufra daño; que el robot debe obedecer las órdenes que le sean dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes están en conflicto con la primera ley; y, por último, que un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que hacerlo contra diga las dos primeras leyes. El idealismo de estas leyes contrasta vivamente con los informes y predicciones de los que trabajan actualmente en el campo de la inteligencia artificial.

Ya se han programado computadores con diferentes códigos éticos y doctrinas religiosas, de forma que son capaces de dar "consejos" apropiados a las personas que soliciten su ayuda dentro de una determinada tradición. Aunque en un sentido diferente, la extensión de esta idea es la noción de un computador "hindú" o "cristiano", que podría ofrecer consejo pastoral, decir sermones y actuar como "guía espiritual". Pero, según se proyecta, los "supercomputadores" no se encargarán sólo de la religión, sino también de la política, de la economía, la jurisprudencia, el trabajo y el ocio, así como de la medicina, de la educación, de nuestras relaciones personales, e incluso de proporcionarnos sexo informatizado. El computador pornográfico no es un tema sobre el que merezca la pena pensar mucho, pero tampoco vale la pena considerar la propuesta —hecha en serio— de que los computadores del futuro podrían reducir tanto nuestras necesidades de utilizar el cerebro, que necesitaríamos hacer una especie de "gimnasia mental" empleando programas especialmente diseñados para ejercitar la mente. Me parece que, antes de dotar a los computadores con códigos éticos o religiosos, los propios científicos de la informática deberían adoptar alguno que orientara sus propósitos de acuerdo a una moral apropiada, en vez de dedicarse a propagar extravagantes fantasías.

El vínculo que existe entre la inteligencia artificial y la psicología es que comparten una misma visión del hombre. Esto es algo que ha sido hecho explícito por vanos líderes de este campo de investigación. Así, por ejemplo, el psicólogo George Miller escri-

bía: «En los últimos años muchos psicólogos han dado por sentado... que el hombre y el computador son meramente dos especies de un género más abstracto denominado "sistema procesador de información".» K. M. Colby, J. B. Watt y J. P, Gilbert, reconsiderando el papel de los programas de computador en la psicología, dicen: «Un psicoterapeuta humano puede ser visto como un procesador de información que toma decisiones de acuerdo a una serie de reglas, que están claramente orientadas hacia unas metas a corto o largo plazo.» Tales actitudes nos conducen a la idea de fabricar máquinas capaces de "tratar" un número de pacientes diez veces superior al que puede ser tratado actualmente, de manera que los defectos que presenta hoy día la organización de la psicoterapia pueden ser "resueltos" por el computador. Ni siquiera se consideran otras alternativas, puesto que la máquina puede "resolver" el problema. Pero tal solución es una solución técnica, y el problema humano real que subyace a las necesidades de los pacientes nunca llega a ser analizado; ni siquiera se toma en consideración. El problema es visto meramente como una cuestión de "número", por lo que no resulta sorprendente que las personas sean reclasificadas de una manera inhumana. Consideremos lo que expone el científico informático Herbert A. Simon en su libro *The Sciences of the Artificial* [14]:

«*Una hormiga, considerada como un sistema que se comporta de cierta manera, es bastante simple. La aparente complejidad del entorno en el que se encuentra*... la verdad o la falsedad de esta hipótesis debería ser independiente de que en una visión más microscópica las hormigas sean sistemas complejos o simples. A nivel celular o molecular se puede demostrar que las hormigas son complejas, pero los detalles microscópicos de su entorno interno pueden ser bastante irrelevantes en relación con su comportamiento hacia el entorno exterior. Precisamente por esto es por lo que un autómata, a pesar de ser completamente diferente a nivel microscópico, podría, sin embargo, simular el comportamiento global de la hormiga...

[14] Traducción castellana: H A Simon, Las *ciencias de lo artificial,* Asistencia Técnica de Ediciones, 1979. [compartido en http:www//exvagos1.com *(N. de Sargont)*]

»Me gustaría probar esta hipótesis sustituyendo la palabra "hormiga" por "hombre". *Un hombre, considerado como un sistema que se comporta de cierta manera, es bastante simple. La aparente complejidad de su comportamiento a través del tiempo es en gran parte uh reflejo de la complejidad del entorno en el que se encuentra...* En mi opinión, esta hipótesis es válida incluso para el hombre en su totalidad» (páginas 24-25).

Simon no deja de ser consciente del problema que representa redefinir al hombre en términos mecánicos. En su artículo «Significado de los computadores para el hombre y la sociedad», titula todo un apartado "El hombre visto por el hombre", y cuestiona si la dignidad del ser humano y su autoestima (y no menciona otras cualidades humanas) dependen de la posición privilegiada del hombre en la naturaleza. Pero, de hecho, Simon no da respuesta a sus propias preguntas, excepto para reafirmar su propia ideología. Y escribe:

«La definición de la unicidad del hombre ha constituido siempre la clave de sus sistemas cosmológico y ético. Con Copérnico y Galileo dejó de ser la especie situada en el centro del Universo, rodeada por el Sol y las estrellas. Con Darwin dejó de ser la especie creada por Dios y dotada especialmente de alma y razón. Con Freud, el hombre dejó de ser la especie cuyo comportamiento era —potencialmente— gobernable mediante la mente racional. Al empezar a producir mecanismos capaces de pensar y aprender, el hombre deja de ser la única especie capaz de manipular su entorno de modo complejo e inteligente.»

Simon responde a su pregunta «¿qué es el hombre?» repitiendo su propio punto de vista de que el hombre es la especie que acaba de aprender que su mente es "explicable en términos de mecanismos simples". Resulta difícil comprender una visión tan fría de la naturaleza humana y de la vida del hombre. En ella no hay lugar para el amor, la belleza o la amistad; no hay espacio para la experiencia compartida, ni para la oración, el sufrimiento, la piedad, la aflicción o la preocupación por los demás. El hombre queda así reducido a simples mecanismos y debe ser redefinido como una máquina. El único problema reside en la palabra "máquina".

Si el término máquina tiene connotaciones de rigidez, simplicidad y comportamiento repetitivo —argumenta Simon—, entonces este término no describe correctamente al computador. Y prosigue: «O bien eliminamos las connotaciones del término, o dejamos de llamar "máquinas" a los computadores.»

Presumiblemente, la alternativa sería decir que los computadores son una "especie", con lo que fomentaremos insidiosamente la comparación entre estas máquinas y el hombre. Si admitimos a la máquina en el reino de la naturaleza, su evolución hacia una posición superior a la del hombre parecerá mucho más inevitable. Naturalmente, tal admisión degrada aún más la definición del hombre, pero esto es precisamente lo que pretende hacer gran parte de la investigación en inteligencia artificial y en psicología, redefiniendo cualquier otra cosa que se interponga en su camino. Una conferencia internacional sobre informática, celebrada recientemente, concluía recomendando que las lenguas —como el inglés— fueran reestructuradas para que se adaptaran mejor a las necesidades de la informática. «Lo que hace falta... es acordar significados densamente distribuidos y cuidadosamente definidos, de manera que el lenguaje existente pueda alcanzar la precisión de definición necesaria para la nueva informática.» Nadie parece haberse dado cuenta —y desde luego, nadie ha protestado por ello— de las implicaciones que encierra tal declaración, ¡alterar la cultura humana para adaptarla a la conveniencia de una herramienta electrónica!

Desde que Alan Turing expusiera sus originales ideas sobre la inteligencia artificial, la noción de la máquina capaz de evolucionar ha permanecido. El tema de la evolución se desarrolla en dos niveles. Primero, considerando el desarrollo como evolución, surge la idea de que las máquinas evolucionarán hasta convertirse en máquinas cada vez más potentes, ayudadas al principio por el ingenio del hombre, pero posteriormente por la habilidad de las propias máquinas. Turing expresaba esta idea en términos de la construcción de diferentes formas de "máquina-niño", hasta que se "seleccionara" una como la más apta para sobrevivir. Actualmente la "evolución" de supercomputadores se discute más en términos de asistencia por parte de máquinas de la nueva generación al

diseño de otras máquinas superiores, hasta que —en una especie de juego de pídola— la máquina inteligente dé el "salto" que la haga evolucionar a un plano superior al del pensamiento humano.

El segundo nivel, en este tema de la evolución, se refiere a la evolución del hombre. El planteamiento sigue aproximadamente esta línea: el hombre ha evolucionado durante millones de años y posee cierto grado de inteligencia. El hombre ya está alcanzando la capacidad de desarrollar (o evolucionar) máquinas que serán superiores al ser humano. Esto forma parte de una misma y continua línea de evolución. De ahí que un científico escriba: «Es posible considerar al propio hombre como un producto de un proceso evolutivo para el desarrollo de robots engendrados por robots más simples, retrocediendo así sucesivamente hasta llegar al barro original.» El hombre es aquí redefinido como un simple robot en una estúpida cadena de robots en evolución, cuyo único objetivo es contribuir a la evolución de otros robots aún superiores.

La incapacidad del hombre para resolver sus propios problemas es por tanto atribuida a lo limitado de su inteligencia. «Es ciertamente lo mejor que la evolución ha podido conseguir en el tiempo de que ha dispuesto», escribe Christopher Evans, y prosigue: «No hay razón para suponer que, dados... el tiempo y la presión necesarios para la evolución, no se dé un mayor desarrollo de la inteligencia humana. Desgraciadamente, el mundo se encuentra en una situación tan peligrosa que no podemos perder el tiempo esperando a que esto ocurra por sí solo» (pág. 195). De este modo el autor sugiere que juguemos a ser Dios y aceleremos el ritmo de la evolución construyendo máquinas intelectualmente superiores al ser humano.

El aspecto más interesante en cuanto a la inteligencia artificial es que es un campo de desarrollo tecnológico en el que muchos de los objetivos y motivaciones que hay detrás de la investigación son expuestos bastante explícitamente. Se aboga activamente por un desarrollo de las máquinas —esa otra especie de criatura procesadora de información— encaminado hacia la sustitución del hombre. El doctor Robert Jastrow, director del Centro de Vuelos Espaciales de Godard y uno de los científicos más veteranos y sobresa-

lientes de Estados Unidos, ha dado a conocer un programa para alterar el curso de la evolución biológica de manera que la especie humana sea sustituida por «inteligencias basadas en el silicio». Como Weizenbaum ha comentado, éste es un programa para el genocidio.

Frecuentemente, en las declaraciones de los líderes de la informática se expresa explícitamente la intención de llegar a producir la «ultrainteligencia». H. A. Simon acepta el desafío cuando escribe: «No sólo en mi nombre, sino también en el nombre de todas las personas que trabajamos en este campo, acepto la obligación (de hacer que la máquina sea capaz de hablar y muestre un alto grado de inteligencia) y espero que alguno de nosotros producirá en breve el programa necesario para lograrlo.»

Determinadas áreas de la cultura humana están siendo atacadas para conseguir someterlas a cierto tipo de "comprensión". El profesor Marvin Minsky, del Massachusetts Institute of Technology, ha declarado que sólo seremos capaces de comprender el proceso creativo de la composición musical cuando los computadores puedan ser programados para escribir buena música. Actualmente ya se están desarrollando investigaciones sobre la comprensión informática de la música. Donald Michie, comentando la conveniencia de que las máquinas sean capaces de "comprender" los procesos de la creatividad humana, sugiere que este método de extender la cultura es para el hombre una forma de obtener la inmortalidad. H. A. Simon ha llegado incluso a decir que sería aceptable que la especie humana fuera sustituida por máquinas inteligentes, puesto que tendríamos "descendientes culturales". Nuestra cultura humana sería inmortal al ser continuada por nuestros sucesores electrónicos. Michie dice que estos avances no pueden ser clasificados «más que como buenos». Y no se trata ya de exóticos escritos de escritores de ciencia ficción, sino de reconocidas opiniones y pensamientos de los más prestigiosos científicos de la investigación sobre inteligencia artificial.

Se prevé que el supercomputador será una máquina que muy pronto podrá sustituir todas las funciones humanas y que será capaz de proveer a todas nuestras necesidades, pero entonces ¿qué

será de la gente? Se ha sugerido que nos convertiremos en las mascotas y en los juguetes de las máquinas, cuyos antepasados serían los juguetes y mascotas con los que nosotros jugamos ahora. Y todavía podemos adelantar una especulación más siniestra: el resultado lógico de reemplazar todas las funciones humanas es simplemente prescindir por completo de los seres humanos. El rápido desarrollo de la tecnología, paralelo al de sus aplicaciones militares, podría alegarse como una evidencia en favor de tal argumento. Si el objetivo de la tecnología —al menos parcialmente— es maximizar los beneficios de las corporaciones que las promueven, entonces la eliminación de los sectores "inútiles" de la sociedad sería, probablemente, el caminó más lógico a seguir desde el punto de vista económico. Semejante planteamiento también parece compatible con la idea de "hombres-mascota", ya que seguramente el mundo de los computadores no deseará que haya demasiados animalitos domésticos correteando por ahí.

Otro de los caminos hacia la inteligencia artificial elevada consiste en plantearse la simbiosis hombre-máquina. La idea de que una persona sea "enchufada" a un computador para ampliar su cerebro parece ridícula y exagerada. Sin embargo, ya se han llevado a cabo con éxito al menos dos experimentos en un intento de alcanzar esta fusión del hombre con la máquina. En uno de los experimentos se entrenó a pilotos de avión en una técnica de biofeedback[15] para controlar los gráficos de sus electroencefalogramas. Concentrándose en determinadas frases conseguían alterar su encefalograma lo suficiente como para que un computador pudiera registrar la diferencia. Estos pensamientos se utilizaban después como solicitud de información, de manera que cuando el piloto pensaba después "velocidad del aire", su registro electroencefalográfico se alteraba, lo que era interpretado por el computador, que facilitaba al piloto la información requerida. Y dado que los pilotos de hoy día —y en particular los de los cazas— necesitan una información muy rápida y, debido a la velocidad a la que vuelan, no

[15] Bio-feedback: método de control del organismo mediante la voluntad. Definido por Paskewitz como «el conocimiento del estado dinámico de un sistema biológico que posibilita el control voluntario de tal sistema».

pueden permitirse bajar los ojos para mirar su panel de instrumentos, un dispositivo de este tipo tiene un gran potencial. Si el piloto piensa "altitud", e instantáneamente la altitud de vuelo aparece proyectada en el parabrisas a través del que está mirando (la información estaría enfocada al infinito, de forma que el piloto no necesitaría enfocar su mirada para leerla), entonces la interacción hombre-máquina está aumentando la eficacia de la labor del piloto.

Otro experimento de simbiosis hombre-máquina, con una importante aplicación práctica en medicina, tiene que ver con el dolor. En este experimento un paciente que sufría agudos dolores en la mitad inferior de su cuerpo fue literalmente "conectado" a un computador. Se colocó un electrodo en la espalda del paciente, en contacto con el cordón espinal que atraviesa la columna vertebral. Una vez identificado el impulso que al ser transmitido al cerebro hace que el cerebro registre el dolor, el computador conectado al electrodo puede recoger esta señal antes de que lo haga el cerebro y modificar o suprimir su transmisión. Así pues, el computador, conectado al sistema nervioso central, puede efectivamente controlar —aunque de forma limitada— las señales que llegan hasta el cerebro de la persona, y, en este caso, controlar el dolor del paciente. Se están realizando otros experimentos con conexiones más directas entre el cerebro de animales —monos— y computadores.

Donald Michie escribe: «La idea de la simbiosis apunta, no hacía que nuestra especie sea superada, sino a que sea aumentada.» Y expresa su esperanza de que se siga por este camino, aunque advierte que será necesario instalar ciertos dispositivos de seguridad para evitar que el componente máquina de esta asociación decida prescindir del componente humano. Y concluye: «Evidentemente, sería imprudente por parte de nuestra especie seguir aplicando el clásico sistema histórico de fomentar la extinción de los grupos menos aptos. En un futuro en el que tendremos que compartir el mundo con máquinas inteligentes, la perpetuación de este principio se convertiría en un arma de dos filos».

La simbiosis hombre-máquina hace coincidir dos campos de interés de la investigación moderna: la vida y la mente. Otra expresión de semejante combinación puede encontrarse en la idea de

aumentar las formas de vida animal mediante una adecuada manipulación genética y mediante la implantación de inteligencia artificial en el cuerpo del animal. Dada la libertad de acción casi ilimitada de que disponen los científicos y tecnólogos modernos para desnaturalizar la naturaleza y jugar a ser Dios, estimulando los llamados procesos evolutivos, los proyectos de este tipo pueden abrirles la perspectiva de diseñar nuevas especies utilizando las técnicas de la ingeniería genética. Pese a que la ciencia no es capaz de decimos nada acerca de qué es la "vida", se supone que podemos transmitírsela a nuestros descendientes mecánicos. La meta de la informática es «poblar el mundo con nuevas especies mecánicas», según escribe el profesor Frank George; y añade: «Y, en mi opinión, eso es exactamente lo que vamos a hacer.»

Resulta difícil apreciar hasta qué punto hemos avanzado en este camino. Las ideas que están siendo propagadas son en su mayoría fantásticas proyecciones y, en realidad, el pequeño computador comente aparenta ser una máquina bastante inocente. El síndrome del *hacker* —que no es otra cosa que un estado de hipnosis inducido por el computador— combinado con una serie de casos ya conocidos de percepción extrasensorial y de influencias de la mente sobre las máquinas, sugiere que los circuitos del computador poseen cierto potencial de conectar con la consciencia humana, potencial que está siendo explotado incluso en las calculadoras más baratas. Parece que este potencial ha sido captado inconscientemente por las personas que trabajan en la investigación informática, y a menudo esto se hace patente en sus absurdas ideas. El pequeño computador puede estimular dicho potencial y, al ser conectado a una red de telecomunicación, es capaz de amplificarlo. Enchufando la máquina nos conectamos a un mundo en el que las características humanas están redefinidas en los términos del instrumento electrónico, y en donde no encontraremos ni rastro del más elevado sentimiento humano, el amor.

11. El ídolo de silicio

El ya citado profesor Joseph Weizenbaum ha dicho: «Estoy llegando a creer que el computador es intrínsecamente antihumano; que es un invento del diablo.» Y Weizenbaum habla basándose en una profunda experiencia profesional con los computadores y en la investigación en inteligencia artificial, en una de las más prestigiosas instituciones académicas del mundo, el Massachusetts Institute of Technology. Ésta es sólo una de sus apasionadas declaraciones acerca del impacto de los computadores sobre las personas y la sociedad; lo que da motivo para preguntarse cómo es posible que haya llegado a expresar una declaración aparentemente tan extrema. Lo que expondré a continuación podría ser una forma de responder a esta pregunta.

Poner la fe en ídolos siempre ha producido una deshumanización de la gente, conduciéndola a callejones sin salida. Los ídolos "obra de la mano de los hombres" son inevitablemente falsos ídolos y, como ídolos, reflejan de nuevo sus cualidades incompletas e inhumanas sobre aquellos que los adoran. La imagen del espejo es siempre menos real que el propio objeto real. El hombre, redefinido por un ídolo hecho por el hombre, siempre quedará disminuido. En los últimos años hemos construido ídolos de silicio, y nuestra creciente fe en ellos nos ha hecho más inhumanos, porque el ídolo de silicio no es humano. Hasta el punto de que es una parodia de un ser humano, una perversión de las cosas reales, podría ser descrito como algo diabólico, no bueno, no de Dios. El computador, que es visto como la cima del desarrollo tecnológico del momento, es inherentemente antihumano, ya que redefine al hombre a un nivel tan bajo y lo hace con tanto poder. Su poderosa influencia, su capacidad para conquistar, para actuar como paliativo universal a la dificultad de ser humano —que parece tan reconfortante que aceptamos sus consecuencias incondicionalmente—, es lo que hace que la gente crea en él, lo que le hace ganar adeptos. Y sin

embargo, ésta es una tecnología que surge del ansia de poder de un complejo militar/industrial con la intención de pervertir la verdad y sojuzgar a la población. Al igual que con otras tecnologías que poseen el mismo parentesco, permitimos su progreso hasta que parece ser demasiado tarde para hacer algo, y entonces nos dedicamos a buscar el modo de adaptamos a ellas.

En este último punto se encierran las dificultades inherentes a la relación entre tecnología y control social. Los investigadores y los promotores económicos lanzan a la arena social nuevas técnicas, y la gente tiene que adaptarse a ellas. El proceso es absolutamente antidemocrático, pero, aun así, parece ridículo plantear la idea de votar contra la tecnología. Aparte de que esta cuestión no sale nunca a relucir. Los partidos políticos, desde la extrema izquierda hasta la ultraderecha, no tienen que ver con los medios tecnológicos de producción, sino con el modo en que se distribuye y controla la riqueza generada. El debate político sobre las cuestiones más fundamentales que subyacen a la naturaleza de la sociedad apenas existe, excepto en grupos de presión relacionados con la ecología, el feminismo y la paz. En general, en política la posibilidad de elegir queda limitada a diferentes versiones de una misma sociedad tecnológica. Tal posibilidad nos es presentada como "libertad", del mismo modo que la nueva tecnología es presentada como algo que otorga más libertades a la gente. Lo que la nueva tecnología puede hacer es ofrecer una amplia variedad (de hecho, una variedad casi ilimitada) de artículos producidos en masa, de tantos estilos como es posible obtener mediante las técnicas de producción mecánica. Puede ofrecemos docenas de canales de información y televisión en lugar de los pocos de que disponemos ahora; pero esto *no* nos da libertad, sólo nos da más de lo mismo y con menores posibilidades de elección real, puesto que no sólo no se nos ofrecen alternativas, sino que además tal avalancha de objetos similares resulta arrolladora y enajenante. La libertad que se nos ofrece es la libertad de intoxicamos con "drogas tecnológicas".

Hasta que los observadores políticos y sociales lleguen a reconocer la importancia de la tecnología en la definición de las estruc-

turas políticas y sociales, se seguirán produciendo situaciones tan irónicas como la que describo a continuación. Los niveles de desempleo de los países occidentales son elevados y crecientes. En algunos países europeos las cifras de parados han alcanzado unos niveles que hace sólo unos años se hubieran considerado inaceptables. La razón de este elevado desempleo reside en parte en la crisis mundial, en la inflación, en la subida de los precios del petróleo y en la cambiante estructura del comercio internacional; y en parte —aunque en mi opinión es todavía una contribución mínima— en la nueva tecnología microelectrónica. Mientras que los gobiernos hablan de sus deseos de reducir el desempleo, están a la vez ofreciendo grandes incentivos a las empresas para que se automaticen, más que para que contraten más personal. Paralelamente, la introducción de la televisión por cable y la amplia difusión de canales de información en los hogares aparece como un paliativo para el desempleo. El modo en que se está configurando la sociedad da toda la impresión de haber sido deliberadamente estructurado para tener pocas posibilidades de empleo y gran cantidad de "distracciones". Al mismo tiempo, la nueva tecnología, actúa como una potente arma para mantener las estructuras sociales, reforzando el control sobre la población y autoimponiéndose como algo inevitable y progresivo. Después de todo, esto no es más que la continuación del progreso que veníamos experimentando en los últimos trescientos años.

La promesa de flexibilidad y libertad ofrecida por la tecnología es una ilusión; al igual que es una ilusión decir que el modo de producción flexible (o sea, controlada por computadores y robots) amplía las posibilidades de elección de productos de consumo, cuando la elección real estaría entre elegir consumir productos y otras opciones. Las nuevas tecnologías y las técnicas informáticas no son más humanas —como proclaman los psicólogos— por el mero hecho de no ser mecánicas. Son mecánicas en el sentido de que se derivan de la misma fuente, la misma filosofía y la misma motivación que las demás técnicas. Su flexibilidad, la "suavidad" de la tecnología de la informática, es meramente un disfraz.

La tecnología "blanda" ofrece el potencial de controlar a cada persona, cada vehículo, cada hogar o puesto de trabajo, dando a las autoridades militares la posibilidad de controlar detalladamente la vida de la gente.

Merece la pena pararse a observar los métodos que se emplean para vender tecnología informática, ya que esta propaganda puede ilustrar algunas de las cuestiones que ya hemos discutido en el presente libro. Se promocionan los sistemas de información llamando la atención sobre su bajo coste. Así por ejemplo, en un anuncio se dice:

> «En el futuro, las compras podrán hacerse de una manera mucho más fácil y cómoda. Simplemente habrá que telefonear a la tienda, examinar los artículos en la pantalla de nuestro televisor, hacer el pedido a través del teclado, y pagar introduciendo nuestra tarjeta de crédito en el módulo apropiado. La tecnología de la información, por tanto, pondrá a la disposición de todos nosotros un tipo de servicio que en el pasado no habríamos podido permitimos.»

Pero ¿es que la gente pide esta clase de servicio? ¿Es que la gente ya no quiere relacionarse con otros seres humanos? ¿Cómo examinar los artículos por televisión, a no ser que sean tan uniformes y estén tan empaquetados que esto ya no importe? La tecnología, ¿pondrá este servicio a disposición de todos o sólo a la de aquellos que *puedan* permitírselo? ¿Deseamos permitírnoslo? Estas preguntas son sólo unas cuantas de las que se me vienen a la cabeza al leer este anuncio. Cuando el anuncio es analizado planteando preguntas de este tipo, podemos ver qué lejos está la nueva tecnología de proporcionar una respuesta a las necesidades reales de la gente. Otro tipo de propaganda intenta vendemos la idea de que la tecnología informática "cuida de nosotros", asumiendo el papel de una gran madre; una tecnología solícita, bondadosa, que puede hacer por nosotros lo que no seamos capaces de hacer por nosotros mismos. Incluso se ha llegado a proclamar que la tecnología nos proporciona una "mejor comprensión de cómo hemos de cuidar a la gente", cuando, de hecho, la realidad es que aparta a las personas de puestos desde los que pueden ayudar a los demás, que

interfiere en las relaciones personales y que impide que la gente asuma su responsabilidad.

«Lo más importante que hay que tener en cuenta en cuanto a la tecnología de la información (TI) es que sus efectos son favorables. Y que... al igual que la mayoría de las revoluciones, la TI es irresistible.» Así reza la propaganda gubernamental; ensalzando una tecnología que hace posible un poder ilimitado para controlar a la gente y que permite que armas capaces de causar grandes estragos puedan apuntar con mayor exactitud. La información sobre la tecnología de la información difundida por la prensa, televisión, radio, publicaciones científicas y universidades está basada en los mismos supuestos y en los mismos mitos. La creencia en el ídolo de silicio está ya muy difundida, y el mundo está siendo redefinido por el impacto del computador.

La metáfora del computador, la máquina que "piensa", redefine el mundo en términos de información. Las personas son consideradas como "sistemas procesadores de información"; el Universo es interpretado como un gran "sistema de información"; todas las interacciones sociales y humanas son analizadas o discutidas —o simplemente se hace referencia a ellas— en términos de su contenido de información. El dinero se convierte en información. El lenguaje, que contiene tal riqueza de significados —al ser las palabras jerarquías completas de significados—, queda redefinido en términos de pura información. Ya se están fabricando libros que contienen rayas en lugar de palabras, de manera que un "lápiz óptico" conectado a un computador parlante es capaz de leer el libro a un niño. También nuestras imaginaciones son vistas como simple información.

Las relaciones personales están siendo reinterpretadas en términos de transferencia de información. Seymour Papert exhorta a los niños a ganar más "confianza en sí mismos mediante su relación con la máquina", aunque, presumiblemente, a costa de su capacidad de relacionarse con las personas. La política educativa está ahora directamente dirigida a captar a los niños desde tan pequeños como sea posible para adaptar su formación y educación a las necesidades de los computadores y de sus controladores. El

"mundo feliz" que se está planificando sólo admitirá a la gente que se haya adaptado al estilo de las máquinas.

La tendencia hacia la cuantificación del mundo intenta reducir todo significado complejo, la sutileza y la calidad, a pura información que pueda ser codificada en una notación binaria. La cultura es degradada, redefinida en términos de los fríos gráficos del computador, a cualquier cosa que pueda ser representada en la pantalla de televisión, despojada de calidad. Comparemos, por ejemplo, un texto escrito en una pantalla de televisión y la lectura de un buen libro. Incluso sentir el papel añade una dimensión de calidad al libro, calidad que ha desaparecido por completo en el medio electrónico. El diseño de la escritura del computador es horrible, sin ninguna calidad estética. Estamos siendo aclimatados a un entorno artificial francamente feo.

En el mundo del computador la religión es degradada hasta convertirse —a lo más— en una forma de encontrar una vía para el desarrollo individual, con la guía del *software* adecuado. La idea de máquinas que responden a las plegarias es tan obscena como el concebir máquinas-amante que superen al compañero humano en el arte de la seducción, o entregar a nuestros niños para que sean educados por sistemas expertos. Cualquier concepción que suponga que la gente puede desarrollar su humanidad tomando ejemplo de una máquina sintética es moralmente deplorable.

Los productos también son degradados de la misma manera. El objeto hecho por una máquina —por muy "individual" que sea— carecerá siempre de la calidad del objeto producido artesanalmente por el hombre. A no ser que se produzca un giro considerable que nos haga volver a una economía artesanal, las personas verán que su vida y su entorno se van llenando cada vez más de objetos deshumanizados, lo que tendrá sobre ellas un efecto aún más enajenante. También las expectativas de la gente serán redefinidas por la máquina. Se utiliza una calculadora incluso para efectuar las sumas más sencillas, en lugar de hacerlas mentalmente. ¿Y cómo solucionaba la gente estas cuestiones en el pasado?, nos preguntamos, olvidando que en el pasado la gente se las apañaba bastante

bien. Estamos siendo redefinidos por el computador como unos ineptos.

En su obra *The Mighty Micro*[16], Christopher Evans dice: «Incluso los seres humanos más optimistas tendrán que admitir que nuestro mundo se encuentra en un peligroso estado de confusión, y el Hombre, sin ayuda, no parece ser capaz de hacer mucho para mejorarlo» (pág. 197). Esta especie de plegaria para que vengan a ayudamos "inteligencias alienígenas" es ya un signo de cuán ineptos parecemos habernos vuelto. Evans, al igual que la mayoría de los observadores, no vuelve la vista atrás para ver por qué hemos perdido el rumbo, sino que pone sus esperanzas en que seamos salvados por el ídolo de silicio.

Ya hay signos de que nosotros, los seres humanos, hemos abandonado la lucha. Marvin Minsky, del MIT, escribe:

> «El argumento, basado en el hecho de que los fiables computadores hacen sólo aquello para lo que han sido programados, tiene un fallo fundamental; no puede suponerse que el programador tenga pleno conocimiento (y por tanto plena responsabilidad y confianza) de los resultados que se obtendrán. Ciertamente, el programador puede poner en marcha un sistema evolutivo cuyas limitaciones no estén completamente claras para él y que posiblemente le resulten incomprensibles».

Y si el programador no es responsable, resulta sorprendente que el director de un laboratorio de informática pueda escribir:

«... El computador ha ido incorporándose... a la mayoría de las funciones fundamentales para sustentar, proteger y desarrollar nuestra sociedad.» Y añade además: «... No se puede detener esta tendencia en el avance de los computadores.» Ya no se considera necesario que, como individuos, nos responsabilicemos de lo que hagamos. La máquina ha tomado el control. Ella se cuidará de nosotros.

En los países desarrollados las personas han ido distanciándose cada vez más de la naturaleza y de los demás seres humanos, hasta el punto de que ya no saben cómo arreglárselas. Necesitamos nues-

[16] Traducción castellana C Evans, *El fabuloso microprocesador,* E V , 1981.

tra tecnología, que crea dependencia, puesto que nos hemos hecho dependientes de ella. La propaganda menciona toda una gama de aparatos domésticos —congeladores, tostadoras, lavaplatos— y comenta «desde luego que sería posible vivir sin todas estas cosas, pero la vida no sería tan fácil ni tan agradable». Yo no tengo congelador, ni tostadora, ni lavaplatos, y sin embargo llevo una vida agradable y, en realidad, muy fácil. Pero, ¿es el significado de la vida ser "fácil y agradable"? ¿Es eso todo lo que exige la condición humana? ¿No debería ser la vida rica en experiencias, plena de significado y a veces dolorosa? ¿Es nuestro principal deber eliminar todo dolor del mundo? Si la naturaleza origina dolor, es quizá porque el dolor tiene su función, y no es sólo algo que debería erradicarse. Y de todas formas, nuestros calmantes —tostadoras, televisión, computadores— no eliminan realmente el dolor, sino que se limitan a desviar nuestra atención hacia alguna otra cosa. El dolor es algo que afecta a otras personas, algo que sólo habría que experimentar indirectamente, a través de la información de la tecnología. Ya no somos capaces de reconocer el dolor espiritual, el alma afligida, a pesar de que nosotros sufrimos más que ningún otro de esta enfermedad. El suicidio de Turing fue un síntoma de esto; el grado de depresión, soledad, desesperación y frustración que se manifiesta en las sociedades "avanzadas" es indicio de un malestar espiritual que tratamos de curar aumentando la dosis del veneno que lo causa.

Cuando observamos otras sociedades "primitivas" y lo que ellas aprecian y valoran, descubrimos que nuestra cultura desprecia sus creencias, sus rituales, sus mitos y los verdaderos dioses a los que adoran, tachándolos de "supersticiones"; e incluso intentamos curarlos de sus acientíficas, anticuadas, conservadoras y primitivas costumbres, ofreciéndoles precisamente aquello que nos impide a nosotros tener lo que ellos tienen. Intentamos sustituir sus ídolos reales por nuestros ídolos falsos, creyendo que nuestra parodia de la verdad es superior a su visión.

Son los pueblos pobres, subdesarrollados y "primitivos" de este mundo los que de algún modo sufrirán más bajo el imperialismo de la tecnología de la información; aunque, en cierto modo, tam-

bién serán los que sufran menos. Ciertamente los países pobres sufren actualmente debido a que Occidente les ha mostrado una vida rica y materialista que ha sido obtenida a sus expensas; y ellos no podrán nunca aspirar a alcanzar unos niveles de vida como Jos de Europa o Estados Unidos. La tecnología de la informática aumentará el abismo que separa a los ricos y los pobres, tanto a nivel nacional como individual. Deberían ser abiertamente retiradas las falsas promesas y esperanzas que les hemos estado ofreciendo. Debería permitirse que los países subdesarrollados hicieran su propia elección en lugar de tener que aceptar la nuestra, las tecnologías que les hemos impuesto. Pero sufrirán menos que nosotros si descubren su propio camino, si resuelven sus propios problemas y asumen la responsabilidad de sí mismos, respetando una orientación más espiritual hacia la vida. Rechazando una tecnología y un estilo de vida ajeno a sus tradiciones ganarán mucho más que lo que puedan esperar alcanzar siguiendo las huellas de Occidente por un camino que rápidamente se convierte en una resbaladiza pendiente. Y si esto es cierto para los países no occidentalizados y para los pueblos pobres del mundo, también lo es para los pobres de nuestra propia sociedad; y no sólo para los pobres.

La tecnología de la informática no sólo es flexible, sino que además es "limpia". La microtecnología consume muy poca energía, apenas requiere materias primas (aunque los innumerables productos que se supone que elaborarán las fábricas robotizadas consumirán enormes cantidades) y no causa contaminación. Esto es lo que se proclama. Y sin embargo, como en cualquier discusión sobre este tema, el objeto de la discusión se limita a los niveles cuantificables de la realidad. Nunca se mencionan, en relación con la microtecnología, los efectos espirituales que puede tener el que nos rodeemos de una red electrónica de artificialidad. La ausencia de una contaminación física es contrarrestada por una contaminación inmaterial, por una contaminación de la mente y el espíritu. Y será inevitable que aparezcan las manifestaciones físicas de esta enfermedad.

Cuando el profesor Newell hablaba de "encantamiento" estaba redefiniendo el mundo. Se estaba refiriendo a un encantamiento

que —a través del poder de nuestra tecnología— hace aparecer al mundo como algo animado y mágico. En realidad, el mundo había sido desencantado por los mismos procesos que han dado lugar a esa tecnología que parodia el encanto perdido. El surgimiento de la nueva tecnología cambió la percepción que el hombre tenía de un mundo cuyas jerarquías de valores espirituales, físicos y materiales eran comprendidas al menos en parte. El poder del pensamiento científico hizo posible una manipulación del mundo material cuyos resultados eran más eficaces que los que hasta entonces había obtenido el mago en su interacción con el mundo psíquico. En el siglo XVII la ciencia desbancó a la magia en la lucha por conseguir un poder que permitiera manipular el mundo. El encantamiento que describe Newell es magia moderna, una magia de lo material más que del mundo psíquico; pero es a la vez una magia peligrosa, perjudicial para el espíritu. Los luditas fueron un grupo minoritario de "cazadores de brujas" en un mundo en donde la brujería de lo material, concebida por la ciencia, había sido instaurada. La tecnología de la información ha reencantado de nuevo el mundo. Como Weizenbaum sugiere, es una magia moderna y un invento del diablo.

El mal actúa en este mundo imitando el bien. El diablo cuenta nueve verdades para metemos una mentira. Una tecnología desarrollada como instrumento para la destrucción humana y que deshumaniza la vida de las personas, nos es presentada como algo beneficioso. Se nos dice que sirve para capturar a los criminales, para salvar la vida de los niños, para diagnosticar precozmente las enfermedades; todo esto parece ser algo bueno. Pero el precio es muy alto. La tecnología no es neutral, puede ser usada o se puede abusar de ella; se puede utilizar para buenos o malos propósitos. Es Weizenbaum, de nuevo, quien señala que parece existir una ley universal según la cual si es posible abusar de algo, se abusará de ello. Pero, además, esta tecnología es destructiva ya desde su concepción. La euforia que engendra es como un sortilegio mágico. Hechiza a la gente para que crea en un dios falso.

¿Cómo afrontar entonces esta creación? ¿Qué puede hacer la gente en cuanto a la "inevitable" intrusión de la tecnología infor-

mática en todos los rincones de la Tierra? ¿Habría una respuesta sana?

Yo creo que sí, pero pienso que esta respuesta sólo puede surgir cuando las personas, como individuos, empiecen a comprender la situación a la que se enfrentan. Una respuesta sana a la tecnología debería comenzar por reconocer que la nueva tecnología es perniciosa, improcedente, que procede del deseo de controlar y dominar, y que, por tanto, es mejor dejarla de lado, no comprometerse con ella. Hay una historia de un antiguo sabio chino —ya citada por Werner Heizenberg en su libro *The Physicist's Conception of Nature (La concepción de la naturaleza del físico)*— que cito yo aquí por el interés que presenta en la actualidad:

«Cuando Tzu-Gung viajaba por las regiones al norte del río Han, se encontró con un anciano que estaba trabajando en su huerto. Había cavado una acequia para regar. El hombre descendía al pozo, subía un recipiente lleno de agua, con sus propios brazos, y lo echaba en la acequia. Aunque su esfuerzo parecía grande, los resultados parecían ser escasos. Tzu-Gung le dijo: "Hay un sistema por el que podrás llenar cien acequias de regadío en un solo día, y con el que podrás hacer mucho con muy poco esfuerzo. ¿No querrías saber cuál es?"

»Entonces el hortelano se levantó, le miró, y dijo: "¿Y cuál sería ese sistema?" Tzu-Gung le respondió: "Tienes que usar una palanca de madera, lastrada con un peso por detrás y ligera por delante De este modo podrás sacar el agua con tanta rapidez que parecerá que sale a chorros. Esto es lo que se llama un balancín de pozo."

»Entonces la ira enrojeció el rostro del anciano, y dijo: "He oído decir a mi maestro que cualquiera que emplee máquinas para hacer su trabajo hace su trabajo como una máquina. El que hace su trabajo como una máquina desarrolla el corazón de una máquina, y quien lleva en su pecho el corazón de una máquina pierde su sencillez. Aquel que ha perdido su sencillez se hace inseguro en las aspiraciones de su alma. La incertidumbre de las aspiraciones del alma es algo que no está de acuerdo con el sentido de la honestidad. No es que yo no sepa de tales cosas; es que me avergüenzo de usarlas."»

Confrontados por una compleja tecnología, nuestro deseo de saber qué hacer, de saber qué es el sentido de la honestidad, sólo puede provenir de los valores que consideramos como los más

elevados motivos de nuestra humanidad. Para desarrollar un plan de acción hemos de planteamos primero cuáles son nuestras verdaderas necesidades, y después intentar discriminar lo que puede servimos de ayuda de lo que nos impide satisfacer esas necesidades. La gente se manifiesta de formas muy diferentes; algunos, quizá, convirtiéndose en luditas del siglo XX, otros, tal vez, negándose a participar en un mundo artificial de locura electrónica. Pero tenemos que liberamos de la dependencia que nos crea la tecnología, y esto a menudo suele ser penoso. En mi casa hemos desterrado la televisión, y también hemos prescindido de la calculadora de bolsillo. El teléfono sigue pareciéndonos un mal necesario. Discriminar no es tarea que resulte fácil, pero la vida adquiere más significado y se hace mucho más humana.

Nuestro mundo ha perdido su simplicidad y se ha hecho inseguro en las aspiraciones de su alma. Depositar la fe en un ídolo de silicio hace que nos enredemos cada vez más en la densa imagen del mundo y no está de acuerdo con el sentido de la honestidad. Es necesario que estemos informados acerca de las máquinas que "piensan", pero deberíamos avergonzamos de utilizarlas. Enfrentados a una tecnología amenazante, deberíamos intentar alcanzar la sabiduría. Ante un mundo cada vez más automatizado, deberíamos recordar nuestra humanidad y su origen, y poner nuestro sentido de la honestidad al servicio de la vida y el amor.

EL IDOLO DE SILICIO

La "revolución" de la informática y sus implicaciones sociales

MICHAEL SHALLIS

La revolución de los computadores es tan radical como la primera revolución industrial y sus efectos pueden ser igual de traumáticos.

¿En qué consiste esta nueva tecnología que transforma los esquemas sociales y económicos de nuestra sociedad? ¿Qué clase de amenaza representa para el empleo, para las libertades de la humanidad y, en definitiva, para la paz del mundo?

El autor analiza lo que en la actualidad se puede realizar con los microchips, los computadores y los robots; y lo que posiblemente se realizará en el futuro. Además, sitúa la microtecnología contemporánea en el lugar que le corresponde en la historia de la tecnología desde el siglo XVII.

M. Shallis sostiene que el desarrollo y proliferación de la llamada inteligencia artificial será una forma de control social, económico y político ajena a las necesidades humanas, en tanto que la antigua tecnología se desarrolló al servicio del hombre. También establece una convincente tesis en el sentido de que rendir culto en "el altar de los computadores", confiar en máquinas que son incapaces de distinguir entre el bien y el mal para que piensen por nosotros, degrada y va en detrimento del verdadero espíritu humano.

Michael Shallis ha trabajado en el ámbito de la informática desde 1971 y es el responsable del Centro de Ciencias Físicas en el Departamento de Estudios Exteriores de la Universidad de Oxford.

10029
9 788434 582460